

**Die Forstinventuren
in Brasilien**

**Neue Entwicklungen und
ihr Beitrag für eine geregelte
Forstwirtschaft**

von
SYLVIO PÉLLICO-NETTO

1979

Mitteilungen
aus dem
Arbeitskreis für Forstliche BIOMETRIE
Leiter: Prof. Dr. Dr. h. c. M. PRODAN

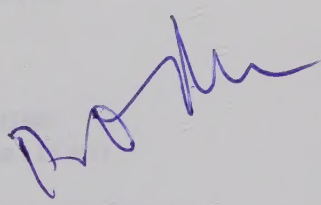
**Die Forstinventuren
in Brasilien**

**Neue Entwicklungen und
ihr Beitrag für eine geregelte
Forstwirtschaft**

von
SYLVIO PÉLLICO-NETTO

1979

Mitteilungen
aus dem
Arbeitskreis für Forstliche BIOMETRIE
Leiter: Prof. Dr. Dr. h. c. M. PRODAN



DIE FORSTINVENTUREN IN BRASILIEN

Neue Entwicklungen und ihr Beitrag
für eine geregelte Forstwirtschaft

I N A U G U R A L - D I S S E R T A T I O N

zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg im Breisgau

vorgelegt

von

Sylvio PÉLLICO-NETTO

aus

São Tomaz de AQUINO
(Minas Gerais / Brasilien)

Freiburg 1979

Dekan
Leiter d.Arbeit
Referent
Korreferent

Prof.Dr.R.GRAMMEL
Prof.i.R.Dr.Dr.h.c.M.PRODAN
Prof.i.R.Dr.Dr.h.c.M.PRODAN
Prof.Dr.W.SCHÖPFER

Tag der Verkündung der Prüfungsergebnisse: 17.12.1979.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Vorwort	IX
1. Einleitung	1
1.1. Der Zustand der Wälder und Land- und Viehwirtschaft (Agropecuária) in Brasilien	2
1.2. Die Aufforstungen in Brasilien	8
1.3. Die Lage der Naturreservate in Brasilien	12
1.3.1. Schutzwälder	12
1.3.2. Nationalreservate	12
1.4. Die Ausbeutung und Vernichtung der Wälder im Staate Paraná	19
2. Die Naturwälder Brasiliens. Planung und Durchführung von Großrauminventuren in verschiedenen Waldregionen Brasiliens	29
2.1. Einführung	29
2.1.1. Das RADAM-BRASIL-Projekt	30
2.1.2. Die Waldformationen Brasiliens	33
2.1.3. Das Bioklima von Brasilien	36
2.2. Die speziellen Verhältnisse der forstlichen Regionen hinsichtlich der Forstinventuren	39
2.2.1. Ökologische Bedingungen	39
2.2.2. Erschließungsbedingungen in verschiedenen forstlichen Regionen	40
2.2.3. Verfügbare Karten	40
2.3. Ökologische und ökonomische Bedeutung der verschiedenen Forstregionen in Brasilien	40
2.3.1. Die Region des tropischen Amazonaswaldes	40
2.3.2. Die Savannenregion Brasiliens (Cerrado)	42
2.3.3. Die Araucarienregion	43
2.3.4. Andere forstliche Regionen	44
2.4. Durchführung der Forstinventuren in Brasilien	44
2.5. Die Problematik der Planung der Forstinventur in natürlichen Wäldern	46
2.5.1. Identifizierung der Baumarten	46

	Seite
2.5.2. Messungen der Bäume im Wald	47
2.5.3. Verfahren zur Massenschätzung in Brasilien	48
2.5.4. Synthese der Theorie für die Schätzung von Einzelbäumen	50
2.5.5. Beurteilung der 4 Verfahren zur Massenschätzung	58
2.5.6. Neues Verfahren für die Ausgleichung der Schaftkurve mit relativen transformierten Reihen	61
2.5.7. Dendrometrische Beziehungen in natürlichen Wäldern	69
2.6. Das mathematisch-statistische Konzept für die Forstinventuren der Naturwälder	71
2.6.1. Die stratifizierte Stichprobe	71
2.6.2. Einschichtige Gruppenstichprobe	86
2.6.3. Die systematische Stichprobe	113
3. Inventurkonzepte für Plantagen	114
3.1. Einleitung	114
3.2. Mathematisch-statistisches Konzept für die Inventuren	118
3.2.1. Stratifizierung	118
3.2.2. Zweistufige Stichprobenentnahme mit Primäreinheiten vorbestimmter Größe	134
3.2.3. Periodische Forstinventuren	142
4. Die Organisation einer Nationalforstinventur in Brasilien (Inventário Florestal Nacional) IFN	159
4.1. Einführung	159
4.2. Die Formulierung der Ziele des IFN in Brasilien	163
4.3. Entwicklung der Verfahren	166
4.3.1. Technik der Fernerkundung	167
4.3.2. Stichprobenverfahren	167
4.3.3. Integriertes System der Datenverarbeitung	169
4.4. Die allgemeine Organisationsstruktur der Nationalforstinventur (IFN)	170
4.4.1. Personal für die Außenarbeit	171
4.4.2. Die Organisation und die Funktionsfähigkeit der IFN	172

	Seite
4.4.3. Bekanntmachung der Resultate	172
4.4.4. Kosten	172
4.5. Die institutionale Struktur der IFN in Brasilien	173
4.5.1. Die Koordinierung der Nationalpolitik	173
4.5.2. Die Koordinierung der Technik auf nationaler Ebene	173
4.5.3. Die technische Koordinierung auf regionaler Ebene	174
5. Beiträge zu den holzmeß- und ertragskundlichen Grundlagen der Großrauminventuren	178
5.1. Die forstliche Lage Brasiliens	178
5.2 Die Inventurplanung in den natürlichen Wäldern	180
5.2.1. Die Charakterisierung der Struktur der natürlichen Wälder	180
6. Zusammenfassung	203
7. Resumo	208
8. Summary	213
9. Résumé	218
10. Literaturverzeichnis	223
Verzeichnis der Tabellen	IV
Verzeichnis der Abbildungen	VI

Verzeichnis der Tabellen

1	Allgemeine Bodennutzung in Brasilien	3
2	Landnutzung nach Regionen (1973) in 1000 ha	4
3	Baum-und Waldflächen nach Regionen (IBDF 1973) (Flächen in 1000 ha)	5
4	Land-und viehwirtschaftliche Flächen (IBDF 1973, 1000 ha)	6
5	Entwicklung der Zerstörung der Wälder und die Zunahme der Fläche für die Land-u.Viehwirtschaft in Brasilien zwischen 1958 und 1973 (in 1000 ha)	9
6	Auf-und Wiederaufforstungen in Brasilien im Zeitraum von 1967-1976 (in 1000 ha)	10
7	Nationalreservate Brasiliens 1977	14
8	Flächen der natürlichen Nationalreservate (in 100 ha)	18
9	Entwicklung der Waldzerstörung im Staate PARANÁ	22
10	Ergebnisse der Araucaria -Inventur in PARANÁ 1963	23
11	Unter Mitwirkung des Verfassers durchgeführte Inven- turen in Brasilien	28 a
261	Ergebnisse der Stichproben der PINHEIRO-Inventur	83
262	Zusammenfassung der Ergebnisse	83
263	Tabellarisierung der Resultate zur Berechnung der Vergrößerung der Mittelvarianzen	85
264	Theoretische Verteilung der Kostendifferenzen D _C zwischen der Gruppenstichprobe und der uneingeschränkten zufälligen Verteilung (in 1.000.-Dm)	94
265	Theoretische Verteilung der Kostendifferenzen D _C zwischen der Gruppenstichprobe und uneingeschränkten zu- fälligen Verteilung (in 1.000.-Dm)	95
266	Statistische Ergebnisse für verschiedene Flächengrößen der Einheiten in Gruppen	100
267	Variation des Koeffizienten, verwendet bei der Opti- mierungsberechnung	104
268	Zusammenfassung der Anordnungen von Aufnahmeeinheiten verschiedener Größe, die an einem Arbeitstag aufgenom- men werden können	106
269	Wirksamkeit der Messungen und zurückgelegten Weg- strecken in d.tropischen Wäldern d.AMAZONASgebietes	107
2610	Verhalten der Varianz und δ in Beziehung zur Flächen- größe	109
2611	Ergebnis der Varianzen in Funktion von der Entfernung zwischen den Elementen der Gruppe	110
2612	Struktur der systematischen Stichprobe	113

31	Auswirkung der zunehmenden Stratifikation auf die Varianz der Durchschnittswerte	119 a
32	Die Bestimmung der Stratengrenzen für die Baumart Araucaria angustifolia	129
33	Die Bestimmung der Stratengrenzen für die Baumart PINUS spp	130
34	Die Bestimmung der Stratengrenzen für die Baumart EUCALYPTUS spp	131
35	Zusammenfassung der Verteilung der Strata n. Altersklassen	132
31a	Beispiel d. Stichprobenauswahl nach dem Kriterium (ppg)	137
32a	Einfache Schätzgrößen verwendet bei der successiven Inventur mit partieller Wiederholung bei Stratifizierung	150
33a	Relative Wirksamkeit der Estimatoren für wiederholte Inventuren mit dem ARP-Verfahren	157
51	Waldflächenanteil in Brasilien (1973)	178
52	Durchschnittliche Mortalität (festgestellt b.d. Forstinventur PIC ALTAMIRA-TRANSAMAZONICA-Autobahn	183
53	Regionen, in welchen die Schaftform und das Volumen d. ARAUCARIA angust. im Süden Brasiliens erhoben wurde	189
54	Varianzanalyse für $\lambda_{0,9}$	190
55	Varianzanalyse für h	190
56	Zusammenfassung der Regionen in Gruppen für $\lambda_{0,9}$	192
57	Zusammenfassung in Gruppen für die Gesamthöhe	193
58	Baumholz u. Volumen in m^3/ha nach Qualitätsklassen	198
59	%-Anteil der Massen, Baumzahl und Baumartenanzahl nach Verwertungsklassen	200
510	Klassifizierung der Massen nach Verwendungskategorien	202

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

	Seite
1 Waldreservate Brasiliens	13a
2 Forstkarte des Staates Paraná 1964	24a
3 Forstkarte des Staates Paraná 1974	26a
4 Abnahme der Waldfläche im Staate Paraná seit 1900	26b
21.1 Waldformationen Brasiliens (Veloso 1966)	38
21.2 Bioklimaregionen Brasiliens. 3. Annäherung (RADAM-BRASIL-Projekt 1976)	38a
25.1 Relative Formreihe der Baumart Araucaria angustifolia	61a
25.2 Transformierte Formkurve der Baumart Araucaria angustifolia	61b
26.1 Inventur der Araucaria angustifolia in Paraná 1966	73a
26.2 Forstkarte des Federaldistriktes Brasília (1972)	74a
26.3 Pinheiro-Inventur in Paraná 1964. Forstkarte	74b
26.4 Inventarisierte Araucaria angustifolia-Fläche im Süden Brasiliens (1978)	75a
26.5 Bedeckung der inventarisierten Fläche im Süden Brasiliens mit Landsat 2 - Bildern. Araucaria angustifolia	76a
26.6 Beziehung zwischen der Zahl der Baumarten und der zurückgelegten Strecke im tropischen Wald des Amazonasgebietes	88a
26.7 Flächenverteilung der Bäume auf 100 ha. Holz-technologisches Zentrum SUDAM-SANTAREM	88b
26.7a Kostendifferenz zwischen der Gruppenstichprobe und der uneingeschränkten Zufallstichprobe	93a
26.7b Kostendifferenz zwischen der Gruppenstichprobe und der uneingeschränkten Zufallsstichprobe	93b
26.8 Bei der Inventur der tropischen Wälder Amazonas	

angewandte Gruppe	98a
26.9 Beziehung zwischen dem Variationskoeffizienten und der Größe der Einheiten in der Gruppe für alle Baumarten	99a
26.10 Beziehung zwischen dem Variationskoeffizienten und der Größe der Aufnahmeeinheiten für eine Baumartengruppe	99b
26.11 Beziehung zwischen dem Korrelationskoeffizienten und der Größe der Aufnahmeeinheiten in der Gruppe	104
26.12 Beziehung zwischen der Varianz innerhalb der Gruppen und der Entfernung zwischen den Aufnahmeeinheiten in der Gruppe für alle Baumarten	110a
26.13 Beziehung zwischen der Varianz innerhalb der Gruppe und der Entfernung zwischen den Aufnahmeeinheiten in der Gruppe für eine Baumartengruppe	110b
26.14 Struktur der optimierten Gruppen bei verschiedenen Erreichbarkeitsbedingungen	111a
3.1 Intervalle der stehenden Bestandesmassen in Funktion vom Alter (λ) der Eucalyptusarten	120
3.2 Beziehung zwischen der relativen Reduzierung der Varianz der Durchschnittswerte und der Zahl der Strata L	122
3.3 Prozentuale zum Zuwachs proportionale Einteilung der Straten. Die Abb. berücksichtigt 10 Straten	124
3.4 Stichprobenkonzept für Plantagen	136
4.1 Stichprobenverfahren - systematische Traktanordnung in natürlichen Wäldern vorgeschlagen für die nationale Forstinventur in Brasilien	169a
4.2 Schema der nationalen Koordinierung, Rat und Ausschuß	175
4.3 Schema der nationalen Koordinierung	176
4.4 Schema der regionalen Koordinierung	177
5.1 Beziehung zwischen dem quadratischen Mitteldurchmesser und dem Durchmesser in Brusthöhe des Baumes (Baumart <i>Araucaria angustifolia</i>)	187

5.2	Volumentarif für die Region QUEDAS DO IGUACU- PARANA für <i>Araucaria angustifolia</i>	188
5.3	Gebietsbegrenzung für die echte Formzahl $\lambda_{0,9}$ (<i>Araucaria angustifolia</i>) im Süden Brasiliens	194
5.4	Bestimmung der Schaftqualität in tropischen Wäldern	196
5.5	Anteil des Volumens und der Baumzahl nach Quali- tätsklassen. Beispiel aus der Inventur des Amazonasgebietes	197

Vorwort

Die Notwendigkeit, die forstliche Forschung in Brasilien voranzutreiben, wurde mit der Errichtung der ersten forstlichen Fakultät 1959 in CURITIBA anerkannt.

Die Holzmeßlehre, die Biometrie, die Forstinventur und die Forsteinrichtung, mit denen auch alle anderen Gebiete der forstlichen Forschung verbunden sind, wurden von Anfang an bearbeitet..

In den letzten Jahren traten große Veränderungen in den Waldverhältnissen Brasiliens ein. Ein Hauptanliegen der forstlichen Forschung war das Problem der Erhaltung der noch vorhandenen Naturwälder und ihre entsprechende Bewirtschaftung.

Der Wert und die Sozialfunktionen des Waldes sollen den zuständigen Regierungsstellen Entscheidungshilfen zur Gestaltung der brasilianischen Forstpolitik der Zukunft sein.

Die vorliegende Dissertation geht von diesen Fragestellungen aus und will mit einigen neuen Ideen zur Verbesserung der Forstinventuren in Brasilien beitragen. Die Arbeit stützt sich auf meine 10-jährige Erfahrung bei der Inventur der tropischen Wälder AMAZONAS, der Cerrado-Flächen und der Wälder im Süden des Landes.

Die Dissertation wurde nur ermöglicht durch großzügige finanzielle Unterstützung und ein Stipendium des Stiftungsverbandes im Rahmen der Alexander von HUMBOLDT-Stiftung, wofür ich hier ganz besonders danken möchte.

In der Abtlg.f.Forstliche Biometrie des Institutes für Forstliche Ertragskunde der Albert Ludwigs Universität Freiburg bekam ich einen Arbeitsplatz und möchte an dieser Stelle meinem Betreuer Prof.Dr.Dr.h.c.M.PRODAN für sein Entgegenkommen, seine Hilfsbereitschaft während aller Phasen der Arbeit, seine immerwährende wissenschaftliche und persönliche Unterstützung sowie die Übersetzungsarbeit meinen aufrichtigen Dank sagen.

Ebenso danke ich Herrn Prof.Dr.W.SCHÖPFER für seine wertvollen Hinweise, seine Kritik und seine Hilfe bei den Auswertungen eines Teiles der Daten dieser Arbeit.

Frau Dr.C.PRODAN bin ich unendlich dankbar für ihre große Hilfe bei der endgültigen Abfassung des Textes. Ohne ihren Beitrag bei der stilistischen Darstellung und Präzisierung der Formulierungen in deutscher Sprache wäre es mir nicht möglich gewesen, die Arbeit in so kurzer Zeit fertig vorzulegen.

Nicht zuletzt gilt mein Dank den Kollegen der Abteilung Biometrie für ihre stete Hilfsbereitschaft und gute Zusammenarbeit:

Herrn Prof.Dr.D.PELZ für seine Kritik, viele Literaturhinweise und die offene Art der Aussprache.

Herrn Dr.B.BERNAUER für seine uneingeschränkte Hilfe bei der Datenverarbeitung

Herrn Dr.Y.zu KO für seine wertvollen Hinweise,

Herrn J.ROHDE für die Unterstützung bei der graphischen Darstellung und

Frl.Dipl.Forstw.Kiem Kick S I E für das Schreiben der Tabellen und Übersichten und des Literaturverzeichnisses.

Besonders dankbar bin ich der FEDERALUNIVERSITÄT von PARANA, die mir erlaubte in die Bundesrepublik Deutschland zu gehen. Dadurch konnte ich diese Dissertation mit Unterstützung der Abteilung für Waldbau und Forsteinrichtung der ich angehöre, zu Ende bringen.

Zum Schluß möchte ich meiner Frau herzlich dafür danken, daß sie mir fortwährend Mut gemacht hat und mir in den schwierigsten Augenblicken immer unerschütterlich zur Seite stand.

Kapitel 1

Einleitung

BRASILien - ein Land kontinentaler Dimensionen - mit der Hauptausdehnung in Richtung Nord-Süd besitzt eine außerordentlich reiche und vielfältige Waldzusammensetzung von den tropisch-amazonischen Regenwäldern bis zu den temperierten Araucaria-Wäldern im Süden des Landes.

Seine geographische Fläche umfaßt $8.511.970 \text{ km}^2$, wovon $8.456.510 \text{ km}^2$ Land und der Rest von 55.460 km^2 Binnengewässer sind.

Das Land ist unterteilt in 5 große geographische Regionen:

1. Der Norden (NORTE) mit den Federalstaaten ACRE (AC), AMAZONAS (AM), PARÁ (PA) und die Territorien RORAIMA (RR), RONDONIA (RO) und AMAPÁ (AP).
2. Der Nordosten (NORDESTE) mit den Staaten MARANHÃO (MA), PIAUI (PI), CEARÁ (CE), Rio GRANDE do NORTE (RN), PARAIBA (PB), PERNAMBUCO (PE), ALAGOAS (AL), SERGIPE (SE), BAHIA (BA) und dem Territorium FERNANDO de NORONHA (FN).
3. CENTRUM-Westen(CENTRO-OESTE) mit den Staaten MATO GROSSO do NORTE (MN) MATO GROSSO do SUL (MS) und GOIÁS (GO).
4. Der Südosten (SUDESTE) mit den Staaten MINAS GERAIS (MG), Rio de JANEIRO (RJ), ESPÍRITO SANTO (ES) und SÃO PAULO (SP).
5. Der Süden (SUL) mit den Staaten PARANÁ (PR), SANTA CATARINA (SC) und RIO Grande do SUL (RS).

Bei Berücksichtigung des Waldgefüges des Landes müßte man das Waldvorkommen in geographische Gebiete unterteilen. Nach den Entwicklungsbedingungen sind diese aber sichtlich sehr unterschiedlich. Eine bessere Form der Darstellung wäre die in ökologische Regionen. Leider ist ein solches Vorhaben nach den heutigen Literaturunterlagen noch nicht durchführbar.

1.1 Der Zustand der Wälder und der Land-und Viehwirtschaft (Agropecuaria) in Brasilien.

Die Wälder Brasiliens können im weitesten Sinne grob in 3 Dichtestufen unterteilt werden:

Dichte Wälder

Wälder in trockenen Gebieten (CERRADO)

Buschformationen (CAATINGA) nach VELOSO, 1966 .

Die nichtbewaldeten Flächen sind primitive, extensive Ackerfelder, kultivierte (landwirtschaftliche) Flächen und Flächen für die Viehweidewirtschaft.

Das brasilianische Institut (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF)) für forstliche Entwicklung hat 1977 eine Studie über die forstliche Lage Brasiliens veröffentlicht, in der die Nutzungsverhältnisse des Landes im Jahr 1973 gegeben wurden (s.Tab.1).

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß 62% der Landfläche Brasiliens in dieser Zeit mit einer natürlichen Vegetations-(Wald-)decke bedeckt und 38% Nichtwaldflächen waren. Diese Daten - auf das ganze Land bezogen - würden auf ein annehmbares Gleichgewicht der Umwelt hinweisen.

In Tab.2 sind die Waldflächen der einzelnen Gebiete gegeben. Danach lassen sich die regionalen Unterschiede leichter beurteilen.

Die herausragende Schlußfolgerung ist, daß die forstlichen Hilfsquellen in enger Verbindung mit dem Landnahmeprozess der Gebiete ausgebeutet wurden.

In den Regionen Centrum-Ost, Südost und Süd sind die - durch die intensive Ausnützung der Flächen durch die Land-und Viehwirtschaft- am stärksten in Mitleidenschaft gezogenen Gebiete.

Eine bessere Einsicht in die Erweiterung der land-und viehwirtschaftlichen Flächen in dem allgemeinen Kontext des Landes im Vergleich zu den verbleibenden Waldflächen geben die Übersichten 3 und 4.

Daraus ist ersichtlich, daß das größte Waldpotential in Brasilien in der Region Nord auf 80,6% der Fläche mit dichten Wäldern und 9,6% Cerrado anzutreffen sind. Dieses größte tropische Waldgebiet der ganzen Welt ist als ökologische Einheit von großer Bedeutung. Dieses umfangreiche

Tabelle 1. Allgemeine Bodennutzung in Brasilien (1973)

Art	Fläche (1000 ha)	% der Fläche außer Binnengewässer	% der Landesfläche
Dichte Wälder	347.082	41.0	40.78
Savannenwälder (Cerrado)	112.307	13.3	13.19
Steppenwälder (Caatinga)	34.721	4.1	4.08
Baum- und Waldvegetation insges.	494.110	58.4	58.05
Aufforstungen	1.934	0.2	0.23
Baumvegetation insges.	496.044	58.6	58.28
Graslandschutz (Savannen)	28.380	3.4	3.33
Natürliche Vegetation, insges. Landwirtschaftliche Flächen Flächen für die Viehwirtschaft	524.424	62.0	61.61
	38.800	4.6	4.56
	161.717	19.1	19.00
Land- und Viehwirtschaft insgesamt	200.517	23.7	23.56
Nicht erschlossene landwirt- schaftliche Flächen	78.616	9.3	9.24
Nicht benutzte Flächen	42.094	5.0	4.94
Nicht-Waldflächen, insges.	321.227	38.0	37.74
Landflächen insges. Binnengewässer	845.651	100.0	99.35
	5.546	-	0.65
Landesfläche	851.197	-	100.00

Quelle: IBDF 1973

Tabelle 2. Landnutzung nach Regionen (1973) in 1000 ha

Regionen	Land- fläche	Dichte Wälder	Cerrado	Caatinga	Landwirt- schaftl. benutzte Fläche	Fläche für die Vieh- wirtschaft	Fläche für die Land- und Viehwirtschaft	Andere ¹⁾ Flächen	Insgesamt
Nord	355.400	286.304	34.241	-	0.939	3.920	4.859	15.346	20.205
Nordosten	154.227	13.499	26.475	32.491	11.716	31.137	42.853	38.534	81.387
Centrum-West	187.936	32.170	39.541	-	3.088	58.887	61.975	43.810	105.785
Südosten	91.881	8.610	11.950	2.230	10.153	45.325	55.478	12.482	67.960
Süden	56.207	6.499	0.100	-	12.904	22.448	35.352	10.538	45.890
Total	845.651	347.082	112.307	34.721	38.800	161.717	200.517	120.710	321.227

Quelle : IBDF

1) Nicht benutzte oder sich in Ruhe befindliche Flächen. In dieser Tabelle wurden 1.934.000 ha Aufforstung- und Wiederaufforstungsflächen und 28.380.000 ha natürliche Graslandschaften (Savannen) nicht eingeschlossen, da ihre Verteilung auf die einzelnen Regionen nicht verfügbar ist.

Tabelle 3. Baum- und Waldflächen nach Regionen (IBDF, 1973) ; Flächen in 1000 ha

Landflächen		Dichte Wälder				Savannenwälder (Cerrado)				Steppenwälder (Caatinga)				%
Region	Fläche	%	Fläche	% der Landfläche	% der Waldfläche	% der Fläche der Reg.	Fläche	% der Landfläche	% der Waldfläche	% der Fläche der Reg.	Fläche	% der Landfläche	% der Waldfläche	insges. ¹⁾
Norden	355.400	42.0	286.304	33.9	82.4	80.6	34.241	4.0	30.5	9.6	-	-	-	90.2
Nordosten	154.227	18.2	13.499	1.6	3.9	8.8	26.475	3.1	23.6	17.2	32.491	3.8	93.6	47.1
Centrum-Osten	187.936	22.2	32.170	3.8	9.3	17.1	39.541	4.7	35.2	21.0	-	-	-	38.1
Südosten	91.881	10.9	8.610	1.0	2.5	9.4	11.950	1.4	10.6	13.0	2.230	0.3	6.4	24.8
Süden	56.207	6.7	6.499	0.8	1.9	11.6	0.100	-	0.1	0.2	-	-	-	11.8
Insgesamt	845.651	100.0	347.082	41.1	100.0	-	112.307	13.2	100.0	-	34.721	4.1	100.0	-

Quelle : IBDF

1) der Baum- und Waldfläche der Region

Tabelle 4. Land- und Viehwirtschaftliche Flächen (IBDF, 1973, 1000 ha)

Region	Land- fläche	%	Landwirtsch. Nutzfläche			Viehwirtschaftl. Nutzfläche			Land- und Viehwirtschaft		
			Fläche	% Br.	% AA Landw. Fläche	Fläche	% Br.	% AA Landw. Fläche	Fläche	% Br.	% AA Landw. Fläche Reg.
Norden (Norte)	355.400	42.0	0.939	0.11	2.42	0.26	3.920	0.46	2.43	0.57	2.42
Nordosten (Nordeste)	154.227	18.2	11.716	1.38	30.20	7.60	31.137	3.68	19.25	5.07	21.37
Zentrum-W. (Centro- Oes.)	187.936	22.2	3.088	0.36	7.96	1.64	58.887	6.96	36.41	7.33	30.91
Südosten (Sudeste)	91.881	10.9	10.153	1.20	26.17	11.05	45.325	5.36	28.03	6.56	27.67
Süden (Sul)	56.207	6.7	12.904	1.53	33.25	22.96	22.448	2.65	13.88	4.18	17.63
Insgesamt	845.651	100.0	38.800	4.58	100.00	-	161.717	19.11	100.00	23.71	100.00

Quelle: IBDF

Br. = Brasil

AA = Landwirtschaftliche Fläche

Reg. = Region

Gebiet bedeckt von einem außerordentlich artenreichen , ungleichaltrigen und sich im Gleichgewicht befindenden Urwald stellt für Brasilien einen einmaligen ökologischen, sozialen und ökonomischen Reichtum dar.

Die Kenntnis der natürlichen Waldvorräte und Produktionsmittel ist heute immer noch ungenügend und verlangt nach einer intensiven Durchführung von Forstinventuren. Diese werden eine qualitative und quantitative Schätzung der Vorräte ermöglichen und Grundinformationen für Entscheidungen auf politischer technischer und ökonomischer Ebene in Bezug auf eine vernünftige Nutzung in der Zukunft liefern.

Die Region NORDOSTEN hat 8,8% dichte Wälder, 17,2% Cerrado und 21,1 % Caatinga. Von diesen 47,1 % Waldfläche mit 38,3 % Cerrado-und Caatingaformationen hat die Holzproduktion nur eine geringe Kapazität und die Region stellt sich als eine der ungünstigsten des ganzen Landes dar.

In der Region Zentrum-Westen kann auf 17,1 % der Fläche mit dichten Wäldern gerechnet werden, die hauptsächlich von den - noch nicht ausgebeuteten-Wäldern der Staaten MATO GROSSO NORD und GOIAS gebildet werden. Dazu kommen 21 % Cerrado-Wälder mit einem beachtlichen ökonomischen Potential, das bis jetzt wenig genutzt wurde.

Die Gebiete SÜDOSTEN und SÜD sind von der großen Reduktion der Waldflächen so in Mitleidenschaft gezogen worden, daß nur noch 9,4 bzw. 11,6 % dichte Wälder existieren. Dazu kommen noch 13% bzw. 0,2% Cerrado-Wälder, die bald in Flächen für die Viehwirtschaft und in Forstplantagen umgewandelt werden. Hier gilt es, keine Zeit zu verlieren, um der Reduktion der natürlichen Wälder Einhalt zu gebieten.

Aus Tab.4 ist zu ersehen, daß sich die Entwicklung der Land-und Viehwirtschaft mit hoher Intensität in den Regionen SÜDOST und SÜD vollzogen hat. Bereits 1973 beanspruchte sie 60,38 % und 62,89% der Fläche. Diese Zahlen erklären die bessere Qualität der Böden, das bessere Klima und die bessere Entwicklung der Infrastruktur für die land-und viehwirtschaftliche Produktion.

Die Regionen ZENTRUM-WEST und NORDOST haben 32,89 bzw.27,79 % Waldfläche.

In der Region NORD waren 1973 - bedingt durch die natürlichen Einschränkungen der ökonomischen Entwicklung - nur 1,73% land-und viehwirtschaftliche

Flächen.

In der neueren Zeit wird eine Bewilligung bzw. eine Förderung der Entwicklung der Viehwirtschaft durch die brasilianische Regierung die Lage sicher stark verändern. Die Ergebnisse dieser Politik wurden vielfach stark diskutiert und von vielen Wissenschaftlern -insbesondere durch das wachsende Gewissen und die Sorge um die Existenz der Wälder in dieser Region- als sehr mutig oder riskant betrachtet.

Bei objektiver Beurteilung der Forstwirtschaft Brasiliens müssen die dynamischen Bedingungen in Verbindung mit der Zeit beachtet werden. Eine periodische forstliche Inventur informiert die Politiker und Planer über die Lage in einem bestimmten Zeitpunkt, ermöglicht eine Analyse und wertvolle Schlußfolgerungen über die Intensität der Veränderungen.

Tab.5 zeigt eine Erweiterung der Land-und Viehwirtschaft der 15 Jahre zwischen 1958 und 1973. Daraus können wichtige Schlußfolgerungen für die Forstwirtschaft gezogen werden. Der Umfang der Rodungen von Waldflächen ist in den einzelnen Regionen sehr verschieden. Sicher ist aber, daß in 15 Jahren in den Regionen Südosten (18,5%) und Süd (23,5%) eine außerordentlich hohe Reduktion der Waldflächen stattgefunden hat. Außerdem zeigt sich, daß der Zunahme der Land-und Viehwirtschaft in dieser Periode von 7,51% der Gesamtfläche Brasiliens eine Reduktion der Waldfläche von 6,35% gegenüber gestellt werden kann. Dies bedeutet, daß die Land-und Viehwirtschaft - hauptsächlich durch die Viehwirtschaft in freier planloser Entwicklung- sich mit 1,16% noch in den Flächen der primitiven Böden ausgedehnt hat.

1.2 Die Aufforstungen in Brasilien.

Bis 1965 waren die Plantagen und Aufforstungen in Brasilien unbedeutend. Mit der steigenden Nachfrage nach Holz für die wachsenden Holzindustrien in der liberalistischen Entwicklung wurden 1966 steuerliche Begünstigungen für die Aufforstung inauguriert. Durch diese Regierungsinitiative wurden Subventionen forciert, um die Grundlage für eine kontinuierliche und nachhaltige Holzproduktion zu ermöglichen (s.Übers.6).

In dieser Übersicht ist die Verteilung der Ergebnisse dieser Politik nach Regionen und Staaten im Zeitraum von 1967-1976 wiedergegeben.

Tabelle 5. Entwicklung der Zerstörung der Wälder und die Zunahme der Fläche für die Land- und Viehwirtschaft in Brasilien zwischen 1958 und 1973 (in 1000 ha)

Waldformationen	Region																
	Norden			Nordosten			Central-West			Südosten			Süden			Insgesamt	
	Fläche	%R	%Nu	Fläche	%R	%Nu	Fläche	%R	%Nu	Fläche	%R	%Nu	Fläche	%R	%Nu	Fläche	%R
Dichter Wald	5.300	1.5	20.4	5.631	3.7	21.7	4.130	2.2	15.9	4.810	5.2	18.5	6.101	10.9	23.5	25.978	23.5
% Brasil	0.63	-	-	0.67	-	-	0.49	-	-	0.57	-	-	0.72	-	-	3.08	-
Cerrado	1.409	0.4	7.1	2.005	1.3	10.1	9.500	5.1	47.8	6.850	7.5	34.5	100	0.2	0.5	19.870	14.5
% Brasil	0.17	-	-	0.24	-	-	1.12	-	-	0.81	-	-	0.01	-	-	2.35	-
Caatinga	-	-	-	6.484	4.2	83.6	-	-	-	1.270	1.4	16.4	-	-	-	7.754	5.6
% Brasil	-	-	-	0.77	-	-	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	0.92	-
Insgesamt %	0.80	-	-	1.68	-	-	1.61	-	-	1.53	-	-	0.73	-	-	6.35	-
Zunahme Land- und Viehwirtschaft	8.365	2.4	-	15.685	10.2	-	17.196	9.1	-	12.894	14.0	-	9.330	16.6	-	63.470	52.3
% Brasil	0.99	-	-	1.85	-	-	2.03	-	-	1.52	-	-	1.10	-	-	7.51	-

Quelle: IBDF

R = Region

Nu = Nutzung

Tabelle 6. Auf- und Wiederaufforstungen in Brasilien im Zeitraum 1967 - 1976 (in 1000 ha)

Region	Staat	Pinus spp	Eucalyptus spp.	Araucaria angust.	Andere natürl. BA	Frucht BA	Euterpe spp	Andere	Summe	%
Norden	Pará Amazonas	-	-	-	-	0.11 2.00	4.01 5.43	-	4.12 7.43	0.16 0.29
	Summe	-	-	-	-	2.11	9.44	-	11.55	0.45
Nordosten	Bahia Piauí	28.42	13.03	-	0.62	0.32	-	-	42.40	1.68
	Maranhão R.G. Norte	-	-	-	-	0.29 0.05 0.10	-	-	0.29 0.05 1.15	0.01 - 0.05
	Summe	28.42	13.03	-	1.67	0.76	-	-	43.89	1.74
Central-West	Mato Gros. Goiás	12.71	221.98	-	2.11	1.74	-	-	238.54	9.45
	Dist. Fed.	0.02	24.32	-	5.04	0.86	-	0.01	30.24	1.20
	Summe	12.73	249.13	-	7.20	2.60	-	0.01	271.65	10.76
Südosten	Min. Ger. São Paulo	77.37	588.78	0.67	15.37	7.85	-	0.61	690.65	27.36
	Rio de Jan Esp. Santo	181.14	292.54	3.03	7.40	19.29	37.95	0.41	541.80	21.46
	Summe	264.36	999.66	3.84	24.80	27.83	37.95	1.15	1359.59	53.86
Süden	Paraná Santa Cat. R.G. Sul	280.48	40.26	41.40	8.37	7.82	115.97	0.51	494.82	19.60
	Summe	537.36	70.13	56.60	10.88	21.06	120.30	21.46	837.79	33.19
	Insges.	842.86	1331.95	60.44	44.55	54.36	167.69	22.62	2524.47	100.00
	%	33.39	52.76	2.39	1.76	2.15	6.64	0.91	100.00	-

Die Regionen Südosten und Süden stehen mit 53,86% und 33,19% an der Spitze der Aufforstungen. In der Region Südosten - im Staate Minas Gerais - wurden am meisten d.h. 27,36% der Gesamtaufforstung von Brasilien aufgeforstet. Die größte Konzentration hatten die Plantagen von Eukalyptusarten, die zusammen mit den Staaten Sao Paulo und Espirito Santo eine große Einheit bilden. Sie sind als Versorgungsquelle des Industriekomplexes für Zellulose und Papier gedacht. Eine etwas detaillierte und ausführliche Darstellung der Bedeutung dieser regionalen Einheit geben die Arbeiten von LADEIRA, 1977 und SUCHEK, 1975.

Erwähnt sei noch besonders: Ta.6 zeigt, daß bei den umfangreichen Aufforstungen und Wiederaufforstungen mit exotischen Baumarten die verschiedenen Eukalyptusarten mit 52,76% aller Aufforstungen in Brasilien vertreten sind. Ihnen folgen *Pinus ellioti* und *Pinus taeda* aus Nordamerika, die in der Region SUL (Süd) intensiv verwendet wurden, sowie tropische Pinusarten wie *Pinus palustris*, *Pinus oocarpa*, *Pinus honduraensis* u.a. für die Regionen mit wärmerem oder heißem Klima. Die Wahl der Baumarten wird bestimmt durch schnelles Wachstum, vorläufige hervorragende Anpassung an die ökologischen Bedingungen der Regionen und - wohl hauptsächlich - auch von der günstigen Erreichbarkeit der Samen in den erforderlichen Mengen aus Nord- und Zentralamerika.

Von den einheimischen Baumarten ist - im Rahmen der allgemeinen Aufforstungen - die *Araucaria angustifolia* von Bedeutung. Sie ist auf 2,39% der Flächen vertreten. Die *Araucaria angustifolia* produziert Holz in viel besserer Qualität als die anderen Baumarten, sie fordert aber ökologische und waldbauliche Einschränkungen, die hemmend auf ihre größere Verwendung im Aufforstungsprogramm wirken. (Verwiesen sei auf die Arbeiten über diese Baumart von ROGERS 1953, KOHOUT 1953, HEINSDIJK 1962, SPELTZ 1963a,b, GLASER 1963, 1972, van GOOR 1965, MATOS 1972, HOSOKAWA 1976).

Zusammengefaßt wird in diesen Arbeiten dargelegt:

1. Die *Araucaria angustifolia* fordert einige ökologische Einschränkungen bei der Aufforstung oder Wiederaufforstung außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes. (Das Verbreitungsgebiet wurde sehr gut dargestellt von HUECK 1953 in seiner wertvollen Arbeit über die Wälder von Südamerika).

2. Waldbauliche Einschränkungen erwachsen aus der Samenproduktion und den hohen Kosten des Pflanzmaterials im Vergleich mit den Pinus- und Eukalyptusarten.
3. Die Wiederaufforstung mit Samen bringt großen Ausfall an Pflanzen, da die Wildtiere die Samen als Nahrung benutzen.
4. Die Araucaria ist eine anspruchsvolle Baumart und hat nur in tiefgründigem Boden gutes Wachstum und entsprechende Bonität.
5. Sie hat ein langsames Wachstum als die Pinus- und Eukalyptusbaumarten.

1.3 Die Lage der Naturreservate in Brasilien.

Zu den großen Objekten der Entwicklungspolitik in Brasilien gehören die Erhaltung von natürlichen Reservaten wie Nationalparks, Nationalwälder und vorhandenen biologischen Reservaten, sowie die Einrichtung neuer Einheiten zur Erhaltung natürlicher Gegebenheiten. In Brasilien existiert eine umfassende Klassifizierung zur Charakterisierung der nationalen natürlichen Reservaten, die nach VELOSO, 1966 wie folgt unterteilt werden kann:

1.31 Schutzwälder

Diese Wälder sind im Rahmen des Forstgesetzes definiert als im allgemeinen befindlich auf Flächen zur ständigen Erhaltung im Zusammenhang mit ihren besonderen örtlichen Eigenschaften und dem Schutz der Umweltbedingungen. Solche Schutzwälder sind in der Region Nord des Staates MATO GROSSO und im Gebiet von RONDONIA auf der ganzen Küste der allgemeinen Serras und der See entlang der atlantischen Küste.

1.32 Nationalreservate

Unter Nationalreservaten werden abgegrenzte Flächen zur Erhaltung einer großen ökologischen Einheit verstanden. Sie sind von entscheidender Bedeutung für die Flora und die Fauna in Brasilien. Es existieren 3 Nationalreservate:

1.321 CAXIUANA im Staate PARA

1.322 CHAPADA do APODI in den Staaten CEARA und RIO GRANDE do NORTE.

1.323 CHAPADA do ARARIPE in den Staaten von Pernambuco und Ceara.

1.33 Andere Reservate wurden entsprechend den internationalen Bestimmungen errichtet und sollen hier nicht weiter besprochen werden.



Abb.1 Waldreservate Brasiliens. (VELOSO, 1966)

Unterschieden werden:

1.331 Waldreservate

1.332 Nationalparks

1.333 Biologische Schutzgebiete

1.334 Staatliche Parks

Eine Synthese der natürlichen Nationalreservate in Brasilien gibt Übers.7 . Brasilien kann bezüglich der Nationalparks schon auf eine Tradition zurückblicken. Der größte Teil dieser Parks ist u.a. lokalisiert in Gebieten von größtmöglicher Zugänglichkeit für das Volk. Unlängst wurde vom IBDF eine ausführliche Studie über die Lage und die Prioritäten zur Erhaltung der Natur im Gebiet des Amazonas herausgegeben, in der sich alle Vorschläge von Wissenschaftlern, Politikern und Technikern für dieses Gebiet finden (IBDF 1976). Diese Studie war sehr wertvoll für die Region AMAZONAS um die Erhaltungspolitik der Regierung zu definieren und um die in dieser Studie vorgeschlagenen Einheiten zu verwirklichen.

In dieser Studie wurden die Vegetationsformen für die Region NORD, die in der Studie von IBDF enthalten waren, noch weiter unterteilt. Für die verbleibenden Regionen gibt es keine Informationen von so ausführlichem Niveau.

In der letzten Fassung des brasilianischen Forstgesetzes wurde die Nomenklatur zur Charakterisierung der natürlichen Nationalreserven geändert. Die Vorschläge sind in Tab.7 schon enthalten. Die Bezeichnung von biologischen Reserven wurde z.B.geändert in biologische Schutzreserven.

Eine Übersicht über die Nationalreservate ist in Abb.1 (nach VELOSO,1966) gegeben.

Eine quantitative Schätzung dieser Nationalreservate ist zusammengefaßt in Übersicht 8. Daraus ist ersichtlich, daß von der gesamten Summe erst 7,81 % errichtet sind und die verbleibenden 92,19 % Flächen nur beschlossene, noch nicht errichtete Reservate sind.

Wie schon in Tab.7 ausgeführt, umfaßt die Gesamtfläche der vorgeschlagenen Reservate - überwiegend in der Region Nord- 21 Millionen ha, die bei einer Verdoppelung des jetzigen Umfanges 4,9 % der ganzen Fläche Brasiliens betragen wird.In dieser Tabelle sind die Vorschläge der SEMA zur Errichtung von ökologischen Stationen in anderen Regionen nicht eingeschlossen.

Aus der analytischen Übersicht der Nationalreservate ist zu entnehmen, daß sich der Hauptanteil der brasilianischen Bevölkerung in den Regionen SÜDOSTEN und SÜD befindet, und daß diese Regionen weniger Reservate haben.

Tabelle 7. Nationalreservate Brasiliens 1977

Formationen	Region		
	Reservate	bestehende	vorgeschlagene
Immergrüne Wälder	Waldreservate	Gorotire (PA), Mundurucania (PA), Rio Negro (AM), Pedras Negras (RO), Jaru (RO) und Parima (RR).	
Trop. Wälder			
Feuchte Wälder			
Lianenwälder		Gorotire (PA)	
Cerrado		Pedra Negra (RO)	
Immergrüne Wälder	Nat. Parks	Amazonas (PA)	Jutai (PA), Parauaquara (PA), Altamira (PA), Auati Parana (AM), Pico da Neblina (AM), Rio Negro (RR/AM), Serra Parima (RR), Pacaraima (RR), Pedra Pintada (RR), Caracara (RR) und Cabo Orange (AP)
Trop. Wälder			
Feuchte Wälder			
Mangobest.			Cabo Orange (AP)
Niederungswälder			Auati Parana (AM)
Savannen			Parecis (RO)
"Terra Firme" Felder			Pedra Pintada (RR)
Immergrüne Wälder	biol. Reservate		Tocantins (PA), Cupari (PA), Campos in Moju (PA), Campos in Anaurá (PA), Parauaquara (PA), Trombetas (PA), Cruzeiro im Süden (AC), Lago Piratuba (AP), Mapanóni (AP) und Jaru (RO)
Trop. Wälder			
Feuchte Wälder			
Lianenwälder			Sororó (PA), Tocantins (PA), Cajazeiro (PA), Cupari (PA) und Araraquara (PA)

Tabelle 7. Nationalreservate Brasiliens 1977 (Blatt 2)

Region			
Formationen	Norden		
	Reservate	bestehende	vorgeschlagene
Trockenwälder	biol. Reservate		Sororó (PA)
Mangobest.			Lago Piratuba (AP)
Niederungswälder			Parauaquara (PA), Parintins (AM)
"Terra Firme"-Felder			Trombetas (PA) und Lago Pitatuba (AP)
Niederungsfelder	ökol. Stationen		Lago Piratuba (AP)
immergrüne Wälder			Tumucumaque (PA), Junuacá (AM), Anavilhanas (AM), Japurá Solimões (AM), Neblina (AM), Imeri (AM), Aracá (AM), Amapá (AP), Surucucus (RR), Melo Nunes (RR), Serra Parima (RR), Ufarana (RR), Pacarima (RR), Uruatinin (RR), Tepequém (RR), Monte Roraima (RR) und Rio Branco (RR)
Mangobest.			Amapá (AP)
Niederungswälder			Japurá-Solimões (AM) und Januacá (AM)
"Terra Firme"-Felder			Ita (RR) und Repartimento (RR)
Niederungsfelder			Amapá (AP)

Tabelle 7. Nationalreservate Brasiliens 1977 (Blatt 3)

Region	bestehende			vorgeschlagene			
	Wald-reservate	Nat. Parks	biol. Reserve	Staatl. Parks	Nat. Parks	biol. Reserve	ökol. Stationen
Nordosten	Gurupi (MA)	Ubajara (CE) Sete Cidades (PI) Paulo Afonso (PE, AL, BA) Monte Paxcoal (BA)			Mesas de Carolina (MA)	Tocantins-Araguaia (GO/MA) Mearim (MA)	
Centrum-Westen		Xingu (MN) Bananal (GO) Tocantins (GO) Brasília (DF) Emas (GO)				Tocantins-Araguaia (GO/MA) Jureuna (MN)	Coco-Javaés (GO)
Südosten		Caparaó (ES) Serra dos Orgaos (RJ) Rio de Jan. (RJ) Itatiaia (RJ)	Soretama (ES) Jacarepaguá (RJ) Alto da Serra (SP)	Rio Doce (MG) Bauru (SP) Ara (SP) Jaraguá (SP) P.F.do Estado (SP) Caraguatatuba (SP) Ilha do Cardoso (SP) Alto do Rio Ribeira (SP)			

Tabelle 7. Nationalreservate Brasiliens 1977 (Blatt 4)

Region	bestehende			vorgeschlagene			
	Wald- reservate	Nat. Parks	biol. Reservate	Staatl. Parks	Nat. Parks	biol. Reservate	ökol. Stationen
Süden		Iguacu (PR) Sete Quedas (PR) Sao Joaquin (PR) Aparados da Serra (PR)		Vila Velha (PR) Campinho-Capivari (PR) Monge (PR) Caxambu (PR) Morumbi (PR) Piloões (SC) Torres (RS) Itapua (RS) Pampas (RS)			

N.B. : In den Regionen Nordosten, Centrum-Osten, Südosten und Süden wurden mangels konkreter Informationen keine Vegetationsformen ausgewiesen.

Quelle : IBDF, PRODEPEF und Veloso, H.P. (1966).

Tabelle 8. Flächen der natürlichen Nationalreservate (in 1000 ha)

Region	eingerrichtete					geplante		Gesamt einger.	geplante	Summe	Prozent d. Ge- samt- fläche
	Flona	National Parks	Eflex	biolog. Refugien	Gesamt einger.	florist. Reservate	National Park				
Norden	800	-	-	-	800	14 405	-	14 405	21 000	36 205	4.28
Nordosten	35	28	2	-	65	1 674	2	1 676	-	1 741	0.21
Centrum-Westen	-	110	-	80	190	1 808	660	2 468	-	2 658	0.31
Südosten	340	23	1	32	396	-	313	313	-	709	0.08
Süden	14	138	-	-	152	-	53	53	-	205	0.02
Summe	1 189	299	3	112	1 603	17 887	1 028	18 915	21 000	41 518	4.90
% Gesamt einger.	5.79	1.46	0.01	0.55	7.81	87.18	5.01	92.19	-	-	-
% eingerichte- te und geplante	2.86	0.72	0.01	0.27	3.86	43.08	2.48	45.56	50.58	100.00	

Quelle : IBDF

Dies ist erklärlich durch den sehr starken ökonomischen Druck der Privatinitiative auf die Waldflächen in diesen beiden Regionen. Genau gesagt, die wenigsten Reservate sind dort, wo der Mensch durch fehlendes klimatisches Gleichgewicht, d.h. durch verlängerte Trockenheitsperioden, durch periodische Hochwasserkatastrophen, durch Wasserverschmutzung, durch Erosion der Böden, durch die Umweltverschmutzung und durch das Fehlen von Erholungsgebieten zu leiden hat.

1.4 Die Ausbeutung und Vernichtung der Wälder im Staate PARANA

In der Region SÜD ist der Federalstaat PARANA immer durch Untersuchungen der Folgen der Exploitation und der Devastierung der Wälder hervorgetreten.

Reinhard MAACK war einer der Pioniere in der Beschreibung dieses Problems. Er hat sich seit 1926 mit den physiogeographischen Grundlagen des Staates PARANA beschäftigt. Als Geologe und Geograph hat er die Grundlagen der Vegetation genau festgelegt und die Ergebnisse der Parana- Wälder 1971 in Berlin veröffentlicht. Die Arbeiten von MAACK zeugen von Idealismus und Verantwortung. Er versäumte nie, auf den Vorgang der Devastierung - insbesondere in einem seit 1921 erhöhten Rhythmus-aufmerksam zu machen.

Dieser Prozeß der Entwaldung durch Exploitation und Devastierung der Wälder im Staate PARANA stand in Verbindung mit dem immer noch dauernden Entwicklungsprozeß der Land- und Viehwirtschaft in PARANA. MAACK hat schon 1931 hervorgehoben, daß die Vernichtung der tropischen und subtropischen Wälder im Norden des Staates PARANA rücksichtslos und mit Habgier praktiziert wurde, um neue Ländereien für Kaffeepflanzungen zu erschließen. Der Kaffee wurde als das "grüne Gold" und die damalige Zeit als "die goldene Kaffeezeit von Brasilien" bezeichnet. Unter dieser Betrachtung wurden die Wälder gerodet, die wichtigeren Hölzer wurden hauptsächlich für den Eigenverbrauch verwendet und der Rest von meist mehr als 80% der gesamten Bestockung wurde vernichtet, um die Fläche für die Landwirtschaft und den Kaffee rasch verfügbar zu haben.

Die Ermahnungen von MAACK signalisierten eindeutig die großen Probleme und Gefahren, die aus der Entwaldung von PARANA entstehen werden.

Wichtige Arbeiten von MAACK erschienen auch über die Folgen der Devastierung im Norden von PARANA, wo er auf die schweren Folgen der Erosion, die heute unerhört hoch sind, hinwies. Er legte dar, daß am Anfang der Fünfzigerjahre sich weder der Staat noch die Grundeigentümer Gedanken gemacht haben um die Errichtung forstlicher Reserven und die Erhaltung von Schutzwäldern im Bereich der Quellen und der Gewässer im allgemeinen.

Der Gang der Entwaldungen wird von ihm als typisch für eine Folgebewegung der Wanderlandwirtschaft charakterisiert, die sich zuerst in der Ebene, dann in der höheren Ebene und nachher in der dritten Ebene fortsetzt, ohne daß dieser Vorgang verboten oder wenigstens eingeschränkt wurde.

Uneingeschränkt erfolgte die Entwaldung so, daß in der Region von ARENITO-CAIUA, die wegen trockener und sandiger Bodenverhältnisse für Erosionen außerordentlich anfällig ist, der kritische Punkt erreicht wurde (MAACK, 1956). In dieser Region können die katastrophalen Ausmaße, die auch schon die Stadtgemarkungen in Mitleidenschaft ziehen, klar beobachtet werden. Besonders hier, wo das Gleichgewicht der Waldecke erhalten werden mußte, ist jedes Maß überschritten worden und der Fortgang der Erosion wurde unaufhaltsam.

Dieses Problem wird in Zukunft auf biologischem Wege gelöst werden müssen und nicht durch - vielfach angestrebte - Ingenieurbauten.

Die ernststen Folgen und schmerzlichen Erfahrungen durch zerstörtes ökologisches Gleichgewicht äussern sich in verlängerten Trockenperioden, Hochwasserkatastrophen, unregelmässigen Klimatas, die auch die Wirtschaft und die politische Stabilität des Staates beeinträchtigen.

MAACK hebt in seiner letzten Studie - veröffentlicht in Berlin - in ernster Betrachtungsweise seine 35 Jahre lange Erfahrung zur Verteidigung der Wälder und die Bedeutung ihrer Erhaltung für das Gleichgewicht der Umwelt im Staate PARANA hervor. Er schildert mit großem wissenschaftlichem Verantwortungsbewusstsein die bitteren und schlimmen Erfahrungen der extremen Entwaldung im ganzen Staat PARANA (MAACK 1960). Er gibt in dieser Studie ein konkretes Beispiel von den Veränderungen im Boden einer Kaffeeplantage, die ursprünglich von einem Urwald bedeckt und dann 20 Jahre entwaldet war. In dieser Zeitperiode sind 35 cm der oberen Bodenschicht bester Qualität verlorengegangen (s. nachstehende Tabelle).

Degradation der organischen Substanz im Boden nach der Entwaldung.
(auf 2,48 ha = 1 alqueire) nach MAACK

	ursprünglich	20 J.nach d.Entwaldung
Organische Substanz	412 000 kg	26 000 kg
Stickstoff	11 000 kg	1 400 kg
CaO assimiliert	20 000 kg	900 kg
K ₂ O "	1 400 kg	115 kg
P ₂ O ₅ löslich	1 600 kg	600 kg

1968 gab MAACK sein Buch über physikalische Geographie von PARANA heraus. In diesem Werk faßt er seine ganze Arbeit zusammen und ergänzt sie mit einer wichtigen geschichtlichen Darstellung der Entwicklung der Entwaldung von PARANA bis zum Jahre 1965. Diese Daten sind in Tabelle 9 gegeben.

Es sind auch andere Beiträge erschienen, die die Arbeit von MAACK ergänzen. Erwähnt sei die Arbeit von HEINSDIJK, der als Erster Beiträge zur Durchführung von quantitativen Studien in den Araucaria-Wäldern im Süden geliefert hat. HEINSDIJK veröffentlichte 1959 in seiner Arbeit: Die Masse der Kiefernwälder (Pinheiro) die Ergebnisse der ersten Massengleichung angepaßt an die Daten der ursprünglichen Araucarienwälder erhoben im ganzen Süden des Landes zur Erstellung der Massentafel für diese Baumart.

1964 bei der Errichtung der Forstfakultät in CURITIBA wurde ich angehalten, die erste forstregionale Forstinventur in dem Araucarienareal in PARANA mit der Mannschaft der Abteilung für Holzmeßlehre (silvymetria) unter der Leitung von DILLEWIJN durchzuführen.

Diese Arbeit ermöglichte erstmalig die Schätzung des Einflusses der Entwaldung der Araucarienwälder im Staate PARANA und gab Informationen über den existierenden Holzvorrat und den Zuwachs durch die Jahrringanalyse der letzten 10 Jahre. Eine Synthese der Ergebnisse dieser Inventur bezogen auf das Jahr 1963 ist in Tabelle 10 gegeben. Darin sind die Ergebnisse mit Hilfe der forstlichen Luftbildinterpretation für das ganze Areal mit Luftbildern im Maßstab 1 : 70 000 identifiziert. Araucarienwälder wurden in 2 Typen stratifiziert. Typ 1 für die Wälder, die noch nicht berührt wurden, bzw. die noch natürlichen Aufbau haben. Typ 2 wird durch die Wälder gebildet, die schon exploitiert wurden und die weniger Masse und Stammzahl /ha haben.

Tabelle 9. Entwicklung der Waldzerstörung im Staate Paraná

Jahr	Naturwälder km ²			Entwaldungsintensität km ²				Wiederaufforstungen Summenergebnisse km ²
	Laubwälder	Araucaria	Summe	% von Stratum	Laubwälder	Araucaria	Summe	
1900 ⁺	94 044	73 780	167 824	83.40	-	-	-	-
1930	89 444	39 580	129 024	64.10	4 600	34 200	38 200	0.00
1937	83 468	34 554	118 022	58.70	10 575	39 226	49 801	23.10
1950	54 610	25 224	79 834	39.70	39 434	48 556	87 900	29.70
1955	47 104	22 032	69 136	34.40	46 940	51 748	98 688	52.40
1960	35 204	20 432	55 636	27.70	58 840	53 348	112 188	58.80
1965	32 204	15 932	48 136	23.90	61 840	57 848	119 688	66.80
1970	25 410	13 235	38 645	19.20	68 634	60 545	129 179	71.30
1971	-	-	-	-	-	-	-	76.90
1972	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	-	-	22 132	11.80	-	-	-	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	-	-	-	-	-	-	-	-
1976	-	-	-	-	-	-	-	-
								105 963
								154 172
								200 936
								299 155
								338 203
								426 054
								494 819
% d. Wald- fläche								

Quelle : Maack (1968), Péllico Netto (1971), CPF (1973, 1974) IBDF (1978)

+ Ursprüngliche Waldfläche in Paraná.

1) annähernd

Tabelle 10. Ergebnisse der Araucaria Inventur in Paraná 1963.
Die kartierte Fläche : 6 780 287 ha.

Spezifizierung	Waldtypen					Summe
	Araucarien Wälder			Subtropische Wälder		
	Typ I	Typ II	Summé			
Fläche (ha)	216 109	1 351 650	1 567 759	1 082 753	2 650 512	
Vol. Min. m. R. 95% Prob.	64 832 881	94 615 500	159 448 381	-	-	
Vol. Min. o. R. 95% Prob.	47 544 112	58 997 921	106 542 033	-	-	
Vol. Max. m. R. 95% Prob.	81 905 528	184 096 400	266 001 928	-	-	
Vol. Max. o. R. 95% Prob.	68 934 150	131 110 050	200 044 200	-	-	
Jährl. Zuwachs Vol. o. R.	460 313	1 162 419	1 622 732	-	-	
Baumzahl 45 cm	6 915 520	16 219 800	23 135 320	-	-	
Baumzahl 45 cm	9 076 620	35 142 900	44 219 520	-	-	

Quelle : Pinheiro-Inventur Forstl. Fakultät der Bundesuniversität Paraná in Curitiba.

Ein zusätzlicher 3. Typ bezieht sich auf die subtropischen Wälder, die in diesem Areal vorkommen. Nach einer detaillierten Analyse der Holznutzung für verschiedene Abnehmer wurde berechnet, daß der jährlich exploitierte Gesamtvorrat 1963 zwischen 3 und 3,5 Millionen cbm/J war.

Daraus läßt sich schließen, daß die gesamte Fläche der Rodungen oder der vernichteten Wälder etwa zwischen 13.500 und 19.600 ha/J im Durchschnitt beträgt. 1963 war der Einschlag in den Araucariawäldern 3 bis 7 mal grösser als der Zuwachs. Dieses Ungleichgewicht stellte schon damals ein außerordentlich kritisches Verhältnis dar, zumal die Nachfrage nach Holz für den Innen- und Außenhandel ständig zunimmt. Die Aufforstung war unbedeutend und obwohl das Gleichgewicht der Waldfläche in eine überkritische Phase eingetreten war, konnte der Forstdienst die Entwaldung nicht mit dem notwendigen Nachdruck verhindern.

DILLEWIJN wiederholte stets die Schlußfolgerungen, die MAACK in vielen seiner Arbeiten aufgestellt hatte. Es war unentbehrlich, daß die Regierung das Forstgesetz gerecht und wirksam durchsetzte. Das vollständige Fehlen von Forstreserven in PARANA machte es nicht möglich, auch nur auf einem Minimum an Fläche das Gleichgewicht und die Kontrolle über die Holzexploitationen zu gewährleisten. Der strukturelle Fehler der brasilianischen Forstpolitik dauert bis heute an.

Die Auswirkung der Arbeit von DILLEWIJN brachte einige fundamentale Einsichten in die Festlegung der Aufforstungspolitik im Land durch Steuervorteile. Unglücklicherweise konnte sie aber keine wirksame Bewegung zur Aufrechterhaltung des natürlichen Reichtums von PARANA - insbesondere im Araucariagebiet - bewerkstelligen.

Zusätzlich zur Inventur wurde auch gleichzeitig eine forstliche Karte nach den Daten von 1964 angefertigt (s. Abb.2).

1968 hat das - bereits tätige - Zentrum für forstliche Forschungen der Fakultät für Forstwirtschaft seine Bemühungen, Forstinventuren - als Ergebnis des hervorragenden Erfolges von DILLEWIJN - durch die Regierung zu realisieren, weiterverfolgt. In der politischen und technischen Arbeit der IBDF haben die Koordinierung und Beaufsichtigung der nationalen Programme



Abb. 2. Forstkarte des Staates PARANA 1964

zur Aufforstung und Wiederaufforstung einschließlich der Arbeiten auf dem Gebiet der Forstinventuren absolute Priorität. Das Zentrum für forstliche Forschungen hat durch die -seit 1968 dauernden- kontinuierlichen Arbeiten schon nationalen Ruhm erlangt.

1970 konnte bereits festgestellt werden, daß die von DILLEWIJN vorausgesagte Auswirkung der Geschwindigkeit der Zerstörung der Araucariawälder Wirklichkeit ist. Der Verfasser schätzte 1971 die durchschnittliche Holznutzung von Araucaria in der Periode von 1965 - 1975 auf Grund der Inventur der Pinheiro 1968 und schloß daraus, daß in diesem Zeitraum - im Vergleich zu den 1965 berechneten Indices- eine Steigerung der Holznutzungen der paranäsischen Pinheiro um 31,9% stattfand.

In dieser Arbeit stellte der Verfasser fest, daß die jährliche Nutzung dieser Wälder 1970 durchschnittlich 5.681 Millionen cbm betrug.

Dabei zeigte sich, daß es schwierig war, irgendeine Aktivität zur Verlangsamung der Entwaldung von PARANA und dem ganzen Süden des Landes zu entwickeln. 1972 wurde von der nationalen Institution Indio (Fundacao Nacional do INDIO_) eine Forstinventur vorgeschlagen. Diese in der Region Süd stattfindende Inventur soll insgesamt 20 Einheiten - davon 11 in PARANA, 2 in SANTA CATARINA und 7 in RIO GRANDE do SUL- mit einer Gesamtfläche von 158.000 ha umfassen. Diese - vom Verfasser koordinierte - Inventur hatte als Ziel in erster Linie die Information über die forstlichen Hilfsquellen und die Aufnahme von Böden und den sozioökonomischen Verhältnissen in diesen Reservaten (CPF 1972). Eine Integrierung der Resultate dieser 3 Erhebungen wird für die Festsetzung eines Entwicklungsprogrammes in diesen Flächen grundlegend sein. Ziel ist die Verbesserung der Lebensbedingungen der eingeborenen Bevölkerung durch eigene Teilnahme und Integrierung in dieses Programm. Für diese Arbeiten wurden Luftbilder im Maßstab 1 : 10 000 verwendet, die zunächst erlaubten, eine viel ausführlichere Übersicht über die Variation des Vorrates in den Wäldern im Süden des Landes zu geben. Eine Stratifizierung erfolgte durch die Luftbildinterpretation, nachdem verschiedene Straten (wie in Abschn.2,Kap.2 dargestellt) identifiziert wurden. Dabei darf nicht übersehen werden, daß die eingeborene Bevölkerung die Wälder rodet, um darauf die lebensnotwendig erscheinende

Landwirtschaft zu betreiben. Dazu kam in den letzten 10 Jahren der Trend, auf diesen Flächen den Eigenbedarf weit übersteigende, immer grössere Mengen Holz zu gewinnen, um das Defizit der Industrien auszugleichen. Dadurch wurde der Waldreichtum immer mehr eingeschränkt, ohne daß dies effektiv verhindert werden konnte. Da die ansässige Bevölkerung durch die industrielle Macht sehr unter Druck gesetzt und beeinflußt wurde, einen Teil ihrer Wälder zu verkaufen, ist es nicht selten vorgekommen, daß mächtige Gruppen in ihren Bereich eingedrungen sind, ohne daß eine Verteidigungsaktion gegen ungerechte und gewalttätige Aktionen zustande kam.

Der Waldreichtum in Brasilien - insbesondere in der Region NORD-ist groß. Würde er von den ansässigen Bewohnern verwaltet, dann könnte dies eine Bewahrung eines grossen Teiles des brasilianischen Waldes sein. Der Indianer ist integriert und lebt in Harmonie mit den Wäldern. Seine Existenz hätte nie zu einer Ausbeutung des Waldreichtums geführt.

1974 hat das forstliche Forschungszentrum - jetzt integriert im IBDF-mit der Oberintendenz der Entwicklung der Südregion und dem Sekretariat der Planung des Staates von PARANA unter Koordinierung von Prof. Sebastian MACHADO eine Inventur der Aufforstungen und Wiederaufforstungen bis 1974 durchgeführt. Gleichzeitig wurden die Photographien des Satelliten "EARTS" herangezogen und - 10 Jahre nach der ersten Karte- eine Forstkarte von PARANA gemacht. Diese Gesamtansicht des Staates erlaubte die Feststellung der Intensität der Entwaldungen in der Periode zwischen 1964 und 1975. . Die festgestellten grossen Veränderungen sind in den Abbildungen 2,3 und 4 vergleichsweise zu sehen. Im ganzen bringt die vorliegende Arbeit folgende zusätzliche Informationen:

1. Der Staat von PARANA hatte 1974 eine Waldfläche von 2.379.547 ha d.h. 11.83 % der Gesamtfläche. Dies bedeutet, daß in der Periode von 1964-1974 3.710.603 ha Wald gerodet bzw. vernichtet wurde, das sind durchschnittlich also in 10 Jahren 371.060 ha pro Jahr, wovon der grösste Teil im Osten und Nordosten des Staates zerstört wurde.
2. Im Staat PARANA wurde von 1965 - 1973 nur 229.155 ha wiederaufgeforstet. Davon 67,19 % durch Pinusarten, 10,49% durch Araucaria angustifolia und 7,51% durch Eukalyptusarten. Diese Wiederaufforstung erreichte bis 1973 1,14% der Gesamtfläche des Staates PARANA.



Abb. 3. Forstkarte des Staates PARANA 1974

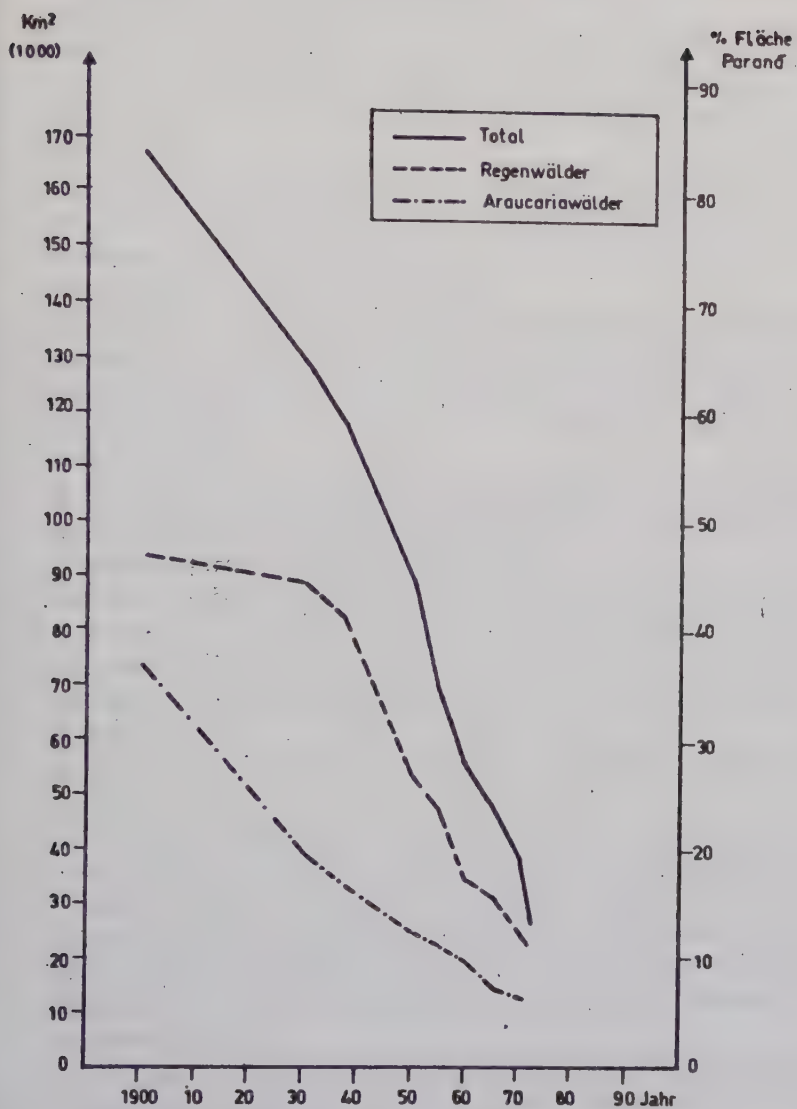


Abb.4 Abnahme der Waldfläche im Staate PARANA seit 1900

Es ist aber unerläßlich 5 % der Fläche zu erreichen, das sind 10.060 km^2 oder $1.006.015 \text{ ha}$ (CPF, 1974)

3. Aus dem Dargelegten erhellt, daß im Verlauf von 10 Jahren jährlich mehr Waldfläche zerstört als im gleichen Zeitraum aufgeforstet wurde. Das bedeutet, daß die Waldvernichtung bis 1974 zehn mal größer war als die Aufforstung.

Die Untersuchungen ermöglichten eine Gesamtansicht der forstlichen Lage Brasiliens innerhalb der bestehenden Informationen und der Lage im Staat PARANA dank der ständigen Bemühungen der Forstfakultät seit 1964 sowie der periodischen Forstinventuren des Staates.

Der Verfasser verwirklichte mit seiner Arbeitsgruppe von der Forstlichen Fakultät verschiedene Regionalinventuren in ganze Brasilien seit 1968. Diese Arbeiten haben dem Verfasser Erfahrungen und Schlußfolgerungen aus theoretischen und praktischen Problemen - insbesondere über die tropischen Wälder- gebracht.

In Tab.11 werden die bis heute - mit direkter oder indirekter Beteiligung des Autors durchgeführten- Inventuren dargestellt. Über die dabei gemachten Erfahrungen wird in dieser Arbeit berichtet.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Kenntnis von den Wäldern Brasiliens zu vermitteln und die Möglichkeit sicherer und geeigneterer Schätzung und Aufzeigung von Alternativen für die Nutzung, ihre Einrichtung und ihre Verfügung für soziale Zwecke innerhalb der Politik zur Bewahrung der Umwelt zu geben.

Aus den Informationen und den zur Verfügung stehenden Inventurdaten resultiert für diese Arbeit:

1. Die Charakterisierung der Struktur der Wälder bis zum Moment der Inventur, um zusätzliche Grundlagen für die Planung der zukünftigen Inventuren unter gleichen oder ähnlichen Bedingungen zu schaffen.
2. Eine generelle Diskussion über die gewonnenen Erfahrungen bei der Anwendung verschiedener Stichproben bei der Inventur der natürlichen Wälder insbesondere der Stichprobenverfahren in Gruppen oder in Klumpen in tropischen Wäldern.
3. Die Formulierung einer Synthese aller Erfahrungen bis zur Inventur der gepflanzten Wälder und ihrer periodischen Durchführung. Das Ziel war, gleichzeitig eine Kontrolle der Produktion im Rahmen einer Forsteinrichtung von ihrer Begründung bis zur Umtriebszeit zu bekommen.

4. Die Formulierung von Zielen und die Begründung theoretischer Grundlagen zur Festlegung einer Nationalforstinventur in Brasilien als Instrument für eine nationale forstpolitische Planung.
5. Die Darlegung der in der forstlichen Literatur - insbesondere in der Bundesrepublik Deutschland- beschriebenen technischen und methodologischen Hilfsmittel zur Durchführung künftiger Forstinventuren in Brasilien.

Daraus dürften sich Beiträge für die bessere Kenntnis der brasilianischen Wälder ergeben und Alternativen für die weitere Nutzung und ihre Verfügbarkeit für soziale und umweltpolitische Zwecke.

Tabelle 11. Unter Mitwirkung des Verfassers durchgeführte Inventuren in Brasilien.

Region	Durchgeführte Inventuren	Waldformationen	Fläche (ha)	aufgenommene Einheiten		Stichproben- verfahren	Jahr
				Einheiten	Unter einheiten		
Norden	Land- u. Viehwirtsch. Distrikt	Regenwald	589 334	100	400	Gruppe	1972
	Freihandelszone Manaus Nationalforst von Tapejós	Regenwald	5 306	51	204	Gruppe	1976
	Altamira	Regenwald	800 000	130	520	Gruppe	1976
Nordosten	Alto Turi	Regenwald	160 980	130	520	Gruppe	1971
Centrum-Westen	Federaldistrikt	Cerrado	574 814	146	-	Stratifizierung	1972
Süden	Pinheiro von Paraná Nationalpark Iguacu	Araucaria Subtrop.	1 500 000 198 000	89 40	- -	Stratifizierung Uneingeschränkte zufällige	1966 1968
	Eingeborenen Reservate Süd-Brasilien	Arauc. Subtrop.	158 008	263	-	Stratifizierung	1973
	Wiederaufforstung im Staate Paraná	Pinus, Euc., Araucaria	229 155	1171	-	Stratifizierung	1974
	Itaipu	Subtrop.	123 561	146	-	Stratifizierung	1977
	Araucaria im Süden von Brasilien	Araucaria u. Mischwälder	16.000 000	321	-	Stratifizierung	1978

Kapitel 2 Die Naturwälder Brasiliens. Planung und Durchführung von Großrauminventuren in verschiedenen Waldregionen Brasiliens.

2.1 Einführung

Die Naturwälder Brasiliens zeigen so große komplexe Vielfältigkeit, daß eine detaillierte Charakterisierung bis jetzt nirgends, d.h. auch im tropischen Gebiet nicht, stattgefunden hat. Das Holznutzungspotential ist sehr unterschiedlich. Das erklärt sich durch die äusserst grosse Zahl von Baumarten, die sich vergesellschaften und verschiedene Formationen bilden.

In der Literatur werden die Fortschritte der Kenntnis der vielfältigen Zusammensetzungen der Phytogeographie von Brasilien dargestellt. Die geschichtliche Entwicklung findet sich zusammengefasst in klarer und wissenschaftlicher Form in Band 8 des RADAM-Brasil -Projektes (RADAM BRASIL 1975)

Vom Beginn des 19. Jahrhunderts bis in die jüngste Zeit sind viele Arbeiten erschienen, die gute Kenntnisse der Pflanzenwelt Brasiliens vermitteln. Besonders hervorzuheben ist MARTIUS (1824). Er war der Erste, der in seinen Arbeiten eine Charakterisierung der brasilianischen Phytogeographie versuchte. Im gleichen Jahr erschien auch die erste von GRIESBACH veröffentlichte Karte in der Zeitschrift "FLORA BRASILIENSIS".

1935 brachten SCHIMPER und FABER eine erweiterte Klassifizierung der 1903 von SCHIMPER gemachten ursprünglichen Einteilung. Diese Klassifizierung basiert auf morphologischen und ökonomischen Kriterien der Einteilung der Vegetation.

Die Autoren der Abteilung Vegetation des RADAM-BrasilProjektes - unter Leitung von VELOSO - haben -unterstützt von zahlreichen Botanikern und Phytogeographen-dazu beigetragen, die brasilianische Pflanzenwelt zu charakterisieren, so daß jetzt von 2 Schulen gesprochen werden kann: Die floristische Einteilung von MARTIUS und die - hauptsächlich von VELOSO übernommene-morphologisch-ökologische Einteilung von SCHIMPER und FABER.

VELOSO hat auch den ersten Forstallas von Brasilien herausgegeben (VELOSO, 1966) In der vorliegenden Arbeit wird die von VELOSO vorgeschlagene Klassifizierung benutzt. Sie wurde nachträglich in dem RADAM-BRASIL-Projekt in Bezug auf die ökologische Charakterisierung - insbesondere des Amazonasgebietes - durch die Arbeiten von ELLENBERG und MÜLLER, DOMBOIS, VELOSO, 1973, 1974 noch vertieft. Eine allgemeine -1966 veröffentlichte- Übersicht dieser Einteilung ist in Abb.21 gegeben.

2.11 Das RADAM-BRASIL-Projekt

Dieses Projekt hat die integrierte Erhebung der natürlichen Hilfsquellen oder natürlichen Ressourcen zum Ziel und wurde 1970 von der brasilianischen Regierung indiziert. Am Anfang hatte das RADAM-Projekt das Ziel, eine allgemeine Erkundung des gesetzlich festgelegten Amazonasgebietes (AMAZONA-LEGAL) durchzuführen. Dieses Projekt unterstand ursprünglich der Nationalbehörde für Mineralprodukte des Ministeriums für Bergbau und Energie. Der Verfasser und CARNEIRO haben 1978 als hauptsächliche Wirkung dieses Projektes die Durchführung von Forstinventuren in tropischen Wäldern herausgestellt.

In der Initialphase erfaßte die Arbeit eine Fläche von 44.000 km^2 , Sie soll sich im Laufe der Zeit auf eine Fläche von 4,8 Millionen km^2 , d.h. 41% der ganzen Landesfläche ausdehnen.-Dies erscheint nach den ausgezeichneten Ergebnissen der ersten Phase auch möglich.

Später soll das - nach dem überall angewandten Radar-System arbeitende-Projekt auf das ganze brasilianische Land ausgedehnt werden.

Das wichtigste Sensorsystem des RADAM-Projektes ist das sogen.SLAR (SIDE LOOKING AIRBORNE RADAR). Es bietet die Möglichkeit, nacheinander unter verschiedenen atmosphärischen Bedingungen und unter Wolkenbedeckung Erhebungen in dem tropischen Gebiet am AMAZONAS durchzuführen.

Die Radarbilder im Maßstab 1 : 250.000 wurden ergänzt durch Infrarotluftbilder im Maßstab 1 : 130.000 und Multispektralbilder, die das Grundlagenmaterial für die Photointerpretation der natürlichen Ressourcen darstellen. Diese Luftbilder sind von der Bewölkung beeinflusst. Die Vergrößerungen im Maßstab 1 : 23.000 wurden mit Hilfe einer besonderen Ausstattung, die trotz der Bewölkung viele zusätzliche Daten liefert, erhalten.

2.111 Die Interpretation der Vegetation durch das SLAR-Sensor -System

In den tropischen Regionen wurde das SLAR-System zur Erhebung der natürlichen Ressourcen verwendet. In Übereinstimmung mit ALLEN (1965) wurde das Gebiet mit SLAR-Bildern bedeckt. Dies war die erste Arbeit über ein tropisches Gebiet in dieser Art. 1968 wurde die gleiche Fläche dann erneut mit dem gleichen System bedeckt, so daß ein Mosaik von SLAR-Bildern entstand. Die folgenden Vegetationstypen wurden mit genügender Sicherheit interpretiert:

4 Typen tropischer Wälder

4 Typen niedriger Vegetation, die zeitweilig unter Wasser stehen und

3 Typen mit offenen Flächen.

Die Ergebnisse zeigen die Möglichkeit der Trennung von Vegetationstypen und ihre Einteilung in Flächen unter dem Einfluß von Wasser oder von trockenen Gebieten.

1969 wurde zwischen PANAMA und EQUADOR eine Fläche von 10 Millionen ha aufgenommen. Dabei wurde das System AN/ APQ/ 97 der WESTINGHOUSE-Companie im Maßstab von 1 : 220 000 angewandt. Damit wurde ein Areal von 100 : 150 km bedeckt. Ungefähr 70% dieser Fläche bestand aus tropischen Wäldern verschiedener Vegetationstypen. Die Variation erstreckte sich von nichtbewaldeten Flächen bis zu Flächen die zeitweise unter Wasser stehen und Flächen und Wälder auf feuchten, festen Böden (terra firme).

Nach ALLEN (1975) war ein grosser Teil dieser Wälder vorher nicht kartiert. Sico SMIT (1979) stellte dar, daß die SLAR-Bilder noch zusätzliche Informationen - wie beispielsweise physiographische Charakteristiken- und Vegetationstypen unterscheiden können. Als Hilfe für die Außenaufnahmen kann - mittels Luftbildinterpretation- eine endgültige Karte bis zu 13 verschiedene Waldtypen enthalten:

3 in den Sumpfgebieten

5 in unter Wasser stehenden Wäldern

5 in Gewässern auf den Terrassen und hügeligen Regionen von geringer Höhe.

Nach den in Columbien durchgeführten Arbeiten stellt Sico SMIT 1969 fest, daß die Interpretation der Radarbilder - basierend auf einem Klassifizierungssystem nach physiographischen Charakteristiken - die Vervollständigung der Karten von Forsttypen der tropischen Regenwälder erlaubt.

Für die Waldtypenkarten ist eine zusätzliche Arbeit -verbunden mit der Photointerpretation konventioneller Luftbilder- notwendig. Die lichten oder nichtbewaldeten Flächen sind sichtbar, aber die Sekundärwälder und die kleinen Blößen sind - infolge der wandernden Landwirtschaft - oft schwer zu identifizieren.

2.112 Die Vorteile der SLAR-Bilder bei der Kartierung der tropischen Wälder

Bei der Kartierung der tropischen Wälder haben die SLAR-Bilder folgende Vorteile:

a) Die Bilder sind frei von Wolken und weisen - im Vergleich mit den Bildern nach Satellitenphotos- keine Ungenauigkeit auf.

b) Der ursprüngliche Maßstab der SLAR-Bilder ist gleich groß wie die vergrößerten Satellitenbilder, so daß sie für die Interpretation ohne weiteres verwendet werden können.

c) Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus sind die SLAR-Bilder in den tropischen Gegenden sehr zufriedenstellend. Normal liegen die Kosten der Interpretation für vielseitige (interdisziplinäre) Karten im Maßstab von 1 : 50 000 bis 1 : 1.000.000 zwischen 2 Dollar und 0,1 Dollar pro km^2 . Die Kosten für Luftbilder unter denselben Bedingungen für Maßstäbe zwischen 1 : 5.000 bis 1 : 100.000 variieren zwischen 250 US DOLLAR bis 1,25 US Dollar pro km^2 . Die Kosten für die Besorgung von SLAR-Bildern im Maßstab 1 : 250.000 variieren zwischen 2,5 US Dollar und 15 Dollar pro km^2 . Für farbige Luftbilder im Maßstab 1 : 8.000 variieren die Preise zwischen 2 und 3 US Dollar pro km^2 , während Multibandaufnahmen im Maßstab von 1 : 100.000 zwischen 6 und 10 US Dollar pro km^2 liegen.

2.113 Die allgemeine Kartenherstellung für die Wälder von Brasilien mit SLAR-Bildern als wichtigstem kartographischem Element.

Die Wälder Brasiliens sind im Verlauf der letzten hundert Jahre in Arbeiten aus den verschiedensten Fachgebieten beschrieben worden. Von den allgemeinen phytogeographischen Studien und von den Arbeiten, die das ökonomische Potential behandeln, kann die Arbeit von AUBREVILLE 1961 ETUDE ECOLOGIQUE des PRINCIPALES FORMATIONS VEGETALES du BRESIL erwähnt werden. Hier sind die außerordentlichen Variationen in den verschiedenen Regionen vermerkt. Eine Verallgemeinerung erscheint danach sehr schwierig. Die Schwierigkeiten sind vor allem bedingt durch :

a) Unkenntnis des großen Teiles der brasilianischen Baumarten und ihrer geographischen Verteilung.

- b) Ausgedehnte Waldflächen, die manchmal mehr als Tausend verschiedene Baumarten enthalten.
- c) Schlechte Erreichbarkeit (geringer Aufschließungsgrad dieser Wälder).
- d) Außerordentlich große Entfernungen der Verbrauchermärkte und eine vollkommen unzulängliche Verkehrsinfrastruktur, die den Transport unmöglich macht und die forstlichen Exploitationen schwierig und unökonomisch gestaltet.

Diese Schwierigkeiten werden am deutlichsten bei Betrachtung der Region AMAZONAS.

Im RADAM-Brasil-Projekt, das die SLAR-Bilder benutzt hat, wurden sehr viele Möglichkeiten erschlossen, dieses ausgedehnte Gebiet überschaubar zu machen. Hier muß die Identifizierung der Flächen der Binnengewässer und die Abgrenzung des hydrographischen Systems hervorgehoben werden. Es stellt durch die grosse Zahl der Flüsse ein ideales Transportsystem in der Region AMAZONAS dar.

Im RADAM-BRASIL-Projekt wurden Karten im Maßstab 1 : 1.000.000 hergestellt, deren kartographische Grundlagen phytogeographische, geologische und morphologische, pedologische und Bodennutzungskarten für das ganze AMAZONAS-gebiet ermöglichten. Dieses Kartensystem soll noch für ganz Brasilien vervollständigt werden.

2.12 Die Waldformationen Brasiliens.

Die Waldformationen Brasiliens nach dem RADAM-Projekt sind in folgender Klassifizierung gegeben:

I. Die hygromorphische Vegetation

1. Schattenfeste Wälder

- 1.1 Dichte Wälder (Floresta densa)
 - 1.1.1. Dichte Wälder in Niederungen
 - 1.1.2. Dichte Wälder submontanen Charakters
 - 1.1.3. Dichte Wälder montanen Charakters
- 1.2. Lichte Wälder (Floresta Aberta)
 - 1.2.1. Lichte Wälder ohne Palmen (CIPOAL)
 - 1.2.2. Lichte Wälder mit Palmen Cocal)

2. Standortsgebundene Wälder

- 2.1. Teilentlaubte Wälder (Floresta semidecidual) = F.S.
 - 2.1.1. F.S. in geringen Höhen
 - 2.1.2. F.S. submontan
- 2.2. Wälder mit laubabwerfenden Baumarten (Floresta decidual) = F.D.
 - 2.2.1. F.D. normalbelaubt (Mesofoliada)
 - 2.2.1.1. F.D. dichte Wälder
 - 2.2.1.2. F.D. lichte Wälder
 - 2.2.2. laubabwerfende, zwergbeblätterte Wälder (Nano foliada)
 - 2.2.2.1. F.D. Nano foliada mit Palmen
 - 2.2.2.2. F.D. Nano foliada ohne Palmen
- 3. Pionierwaldformationen (Formacoes Pioneiras) = F.P.

- 3.1. F.P. unter marinem Einfluß
 - 3.1.1. F.P. unter marinem Einfluß mit Baumwuchs
 - 3.1.1.1. F.P. davon dichte Wälder (Mangue)
 - 3.1.1.2. F.P. Offene Wälder (Restinga)
 - 3.1.2. F.P. in Strauchform
 - 3.1.3. F.P. mit Graswuchs
- 3.2. F.P. unter aluvialem Einfluß
 - 3.2.1. F.P. mit Baumwuchs
 - 3.2.1.1. F.P. mit Palmen
 - 3.2.1.2. F.P. ohne Palmen
 - 3.2.2. F.P. mit Strauchwuchs
 - 3.2.2.1. F.P. in Ufergebieten
 - 3.2.2.2. F.P. in Sumpfgebieten
 - 3.2.2.3. F.P. mit Graswuchs
 - 3.2.3.1. F.P. in Ufergebieten mit Gramineen
 - 3.2.3.2. F.P. in Niederungen und Sumpfgebieten

II. Xeromorphische Vegetation

- 1. Steppe (Caatinga) Estepe = E
 - 1.1. E. Baumsteppe
 - 1.2. E. Buschsteppe
 - 1.3. E. Parksteppe
 - 1.4. E. Grassteppe (Gramineensteppe)
- 2. Savanne (Cerrado) = S
 - 2.1. S. Baumsavanne
 - 2.1.1. S. dichte Baumsavanne (Cerrado)
 - 2.1.2. S. lichte Baumsavanne (Campo cerrado)
 - 2.2. Savannen - Park
 - 2.3. S. Grassavannen, Gramineensavannen (Campo)
- 3. Steppensavanne = SE
 - 3.1. S.E. Baumsteppensavanne
 - 3.1.1. S.E. dichte Baumsteppensavanne
 - 3.1.2. S.E. lichte Baumsteppensavanne
 - 3.2. S.E. parkartige Steppensavanne
 - 3.3. S.E. Gramineensteppensavanne

III. Ökologische Refugien = RE

1. R.E. in geringen Meereshöhen
 - 1.1. R.E. mit Baumwuchs
 - 1.1.1. R.E. in Ufergebieten (Carrasa)
 - 1.1.2. R.E. in Dünengraben
 - 1.2. R.E. mit Graswuchs
 - 1.2.1. R.E. in Ufergebieten
 - 1.2.2. R.E. tundraartige Formationen (*Gladonia trichomanestyp*)
2. Ökologische Refugien in höheren Gebieten
 - 2.1. R.E. in exlemorphischen Höhen
 - 2.1.1. R.E. Ilex-Drymistypen
 - 2.1.2. R.E. Strauchgewächse und Erikaarten (*Ericacea melastomatacea*)
 - 2.1.3. R.E. Tundratypen (*Heliampora-Drosera*)

Diese Klassifikation stellt einen grossen Schritt dar zu einer Vereinheitlichung der Terminologie, die in künftigen wissenschaftlichen Arbeiten - im Einklang mit der internationalen Klassifikation benutzt werden soll. Sie ermöglicht Gebiete nach ökologisch-morphologischen Gesichtspunkten zu trennen, die gleichzeitig nach ökonomischen Möglichkeiten in geomorphologische Einheiten eingeteilt werden können. Unter diesen Umständen wurde in dem RADAM-BRASIL- Projekt das ökologische System auf folgenden Grundsatz gestellt:

Jede natürliche Gruppe zeigt ein ökologisches dynamisches System im Gleichgewicht in einem Areal, das durch die geologischen Bedingungen begrenzt wurde.

Diese Klassifikation ist sehr nützlich für die forstlichen Inventuren auf regionaler oder nationaler Ebene. Die Vegetation muß klassifiziert werden, so daß sie die Festlegung von forstlichen Einheiten erlaubt, die nach der Produktion, nach dem ökonomischen Potential und durch die Ökosysteme charakterisiert werden kann.

Eine nachträgliche und ausführlichere regionale Klassifizierung in ökologische Unterregionen stellt die unerläßliche Grundlage für Forstinventuren dar. Nachdem die bestehenden Unterschiede zwischen den Gebieten durch die Inventur festgestellt und analysiert werden können, wird es möglich sein, je nach Stichprobenintensität nachträglich morphologische Gruppen - und innerhalb dieser Baumartenassoziationen zur Ermhellung der Struktur dieser Wälder festzustellen.

Die dabei resultierenden Kenntnisse sind sehr wichtig als Informationsquelle für die Formulierung der Einrichtungspläne in späteren Produktionseinheiten. Sie ermöglichen eine rationelle Nutzung der forstlichen Produktion

nach dem Prinzip der Nachhaltigkeit und damit eine Erhaltungs-oder Bewahrungspolitik der Umwelt.

2.1.3. Das Bioklima von Brasilien

Zwischen den natürlichen Faktoren, die unmittelbar die Vegetationsformationen sowie die Geomorphologie und den Boden beeinflussen, ist das Klima der wichtigste Faktor zur Charakterisierung der physisch-ökologischen Vegetationseinheiten.

Das RADAM-BRASIL-Projekt hat die Kenntnis all dieser Faktoren erweitert, so daß die Klassifizierung der Vegetationsformationen des ganzen Landes nach und nach verbessert werden.

Die meteorologischen Daten für das ganze Land wurden von den meteorologischen Stationen geliefert (Nationalabteilung für Meteorologie bei der SUDENE = Superintendenz für die Entwicklung des Nordostens).

Anschließend wurden die Vegetationskarte von LIMA 1966 und die - von GALVÃO, 1966 definierten - bioklimatischen Regionen benutzt, um so die Bioklimata in Brasilien festzulegen.

Ihr Ursprung basiert auf der bioklimatischen Klassifizierung von BAGNOULS und GAUSSEN 1957, die von MEHER-HOMJI 1963 noch verbessert wurde.

Danach ist ein Bioklima ein System von interdependenten Beziehungen zwischen Klima und Leben, das den Rhythmus der Temperatur, die Niederschlagsverteilung im Jahr und das entsprechende Verhalten der Pflanzen und ihre entsprechende regionale Verteilung umfasst.

Die brasilianische Klassifikation in ihrer dritten Verbesserung sieht wie folgt aus:

1. EUTHERMOXERISCH (Eutermoxerico)

Abwesenheit von Trockenperioden. Die mittlere Temperatur der kälteren Monate grösser als 20°C . Vegetation: tropische dichte Wälder, tropische lichte Wälder, Pionierformationen.

2. EUMEZOXERISCH (Eumesoxerio)

Abwesenheit von Trockenperioden. Die mittlere Temperatur der kälteren Monate zwischen 10 und 15°C .

3. HYPOTHERMOXERISCH (Hypotermoxerico)

Abwesenheit von Trockenperioden. Die mittlere Temperatur der kälteren Monate zwischen 15 und 20°C . Vegetation: tropisch dichte Wälder, ökologische Refugien.

4. HYPOMESOXERISCH.

Abwesenheit von Trockenperioden. Die mittlere Temperatur der kälteren Monate zwischen 0 und 10°C.

5. SUBTHERMOXERISCH.

1-2 Trockenmonate. Die mittlere Temperatur der kälteren Monate über 15°C. Vegetation: tropisch dichte Wälder, tropisch lichte Wälder, tropische standortsgebundene Wälder und halbkahle Wälder. Flächen von ökologischen Grenzgebieten, Pionierformationen, Savannen.

6. THERMOXEROQUIMENISCH.

Temperatur der kälteren Monate über 15°C.

- 6a. Gemäßigte Trockenperiode. 3-4 Trockenmonate. Vegetation: tropische offene Wälder, zum Teil kahle Wälder und Savannen (Cerrado)
- 6b. Mittlere Trockenperiode. 5-6 Trockenmonate. Vegetation: Steppensavanne und Steppe (CAATINGA).
- 6c. Verstärkte Trockenperiode. 7-8 Trockenmonate.

7. THERMOBIXERISCH (Termobixerio)

2 Trockenheitsperioden. Mittlere Temperatur der kälteren Monate größer als 15°C.

- 7a . gemäßigte Trockenperiode. 3-4 Trockenmonate
- 7b . mittlere Trockenperiode. 5-6 Trockenmonate.
- 7c . verstärkte Trockenperiode.

8 . SUBWÜSTEN

Tropische Tendenz. 9-11 Trockenmonate.

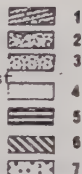
9. EREMISCH (heisse Wüste)

Regen in mm weniger als die 2fachen Temperaturgrade in C.

Eine räumliche Abgrenzung der brasilianischen Bioklimatik ist in Figur 21.2 dargestellt.

Tropische Regenwälder

- 1 immergrüne Überflutungswälder
- 2 " Wälder i.d.Ebene
- 3 halbkahle Amazonica-Wälder



Standortsbedingte tropische Regenwälder

- 4 immergrüne Wälder d.atlant.Küste (Nordos)
- 5 " " " " (Südosten)
- 6 " Palmenwälder
- 7 " Wälder d.Hochebene (Centrum-Süd)



Tropische,laubabwerfende Wälder

- 8 Nordosten
- 9 Hochebene Centrum-Westen
- 10 Paraguaische Niederung
- 11 Subtropische Regenwälder
- 12 Montane Lauretumwälder
- 13 gemischte Coniferenw.
- 14 Caatinga
- 15 Cerrado

offene Landschaften (Campo)

- 15 offene Hochebene
- 16 offene "Campanha gaucha"
- 17 offene Überflutungsflächen
- 18 offene höhere Flächen

Edaphische Typen

- 19 Sumpf-Dünen
- 20 Mato Grosso-Pantanal (Sumpfniederg.)



Abb. 21.2 Bioklimaregionen Brasiliens .
3. Annäherung. (RADAM-BRASIL-Projekt 1976)

2.2 Die speziellen Verhältnisse der forstlichen Regionen hinsichtlich der Forstinventuren.

Zur Realisierung der Forstinventuren ist die Kenntnis einiger besonderer Aspekte jeder Region als Präliminärinformation für die Planung wichtig. Die Planung muß sich in verschiedenen Forstregionen unterscheiden, weil die biometrischen Informationen außerordentlich variieren. Hinsichtlich der Naturwälder stehen im Süden - aus 15 jähriger Inventurerfahrung - bessere Informationen zur Verfügung. Im Norden wurden die Arbeiten der Forstinventuren von der FAO eingeleitet. Jede Region hat ihre besonderen phytogeographischen und ökologischen Verhältnisse, sowie verschiedenartige Erschließbarkeit der Wälder. Die Darstellung der phytogeographischen Bedingungen wurde durch das RADAM-BRASIL -Projekt ermöglicht.

Außerdem gibt es in jeder Region, in jedem Staat oder auch kleineren Gebieten spezifische Arbeiten, die zusätzliche Informationen für die Planung der Inventuren liefern. Als Beispiel sei hier das Werk über die Phytogeographie Brasiliens von RIZZI, 1976 - mit ausführlichen Literaturangaben - hervorgehoben. Die Auswertung dieser Literatur gibt Aufschluß über viele Aspekte.

2.21 Ökologische Bedingungen

Vor jeder Inventur ist es wichtig, folgende Informationen zu haben:

- a) Geologie der Region
- b) Geomorphologie und Relief
- c) Vorkommende Bodenarten
- d) Angaben über das Klima, wie Niederschlagsmenge und ihre jährliche Verteilung, die Temperatur und ihre jährliche Variation, die relative Luftfeuchtigkeit
- e) hydrographische Verhältnisse
- f) Vegetation

Von Bedeutung sind auch Informationen über die vorkommenden Baumarten, ihre dendrologischen Charakteristika und ihre wirtschaftliche Bedeutung.

2.22 Erschließungsbedingungen in verschiedenen forstlichen Regionen.

Die Schätzung des forstlichen Erschließungsgrades ist ein wichtiger Faktor. Dieses Konzept wird definiert als die Bewertung der Wirtschaftlichkeit bei der Nutzung der inventarisierten Vorräte. Die Bewertung ist insofern subjektiv, als nicht alle Waldflächen in absehbarer Zeit genutzt werden.

Eine vorherige Zielplanung braucht nicht immer von der Erschließung abhängig zu sein. (Beispiel die Wälder im brasilianischen Amazonasgebiet).

Die Beurteilung des Erschließungsgrades kann erst nach der ersten Inventur mit besserer Übersicht über das Potential der inventarisierten Wälder berichtet werden.

2.23 Verfügbare Karten.

Nicht in allen Regionen stehen Karten, die eine Planung und Durchführung der Forstinventuren erleichtern, zur Verfügung.

Unter diesen Umständen ist die Alternative, Karten aus Luftbildern herzustellen, vorteilhaft. Die Kosten und die Zeit dafür müssen bei der Planung berücksichtigt werden. Das Fehlen von Karten ist - insbesondere für die tropischen Bedingungen - ein Hinderungsfaktor. Eine Zusammenfassung aller verfügbaren Informationen und aller Kontaktinstitutionen kann zu einer besseren Entscheidung für den Zeitpunkt der Inventur für die Formulierung von Instruktionen für die Außenarbeit und für die Gesamtplanung der Inventur führen.

2.3 Ökologische und ökonomische Bedeutung der verschiedenen Forstregionen in Brasilien.

2.31 Die Region des tropischen Amazonaswaldes.

1970 wurden durch den Plan der nationalen Integrierung die Grundzüge der Entwicklung und der Kolonisierung des AMAZONAS-Gebietes festgelegt. (Plano de Integracao Nacional). Durch infrastrukturelle Maßnahmen soll dieses große Gebiet in das übrige Land integriert werden. Ziel ist dabei, das Gebiet

in Besitz zu nehmen und seine unermesslichen natürlichen Hilfsquellen wie Erzreserven, hydroelektrisches Potential und den Wald ,sowie die land-und viehwirtschaftlichen Möglichkeiten zu nutzen.

Durch diese Entscheidung wurde

1. ein Straßennetzprogramm mit einer folgerichtigen Abgrenzung der Flächen für die landwirtschaftliche Kolonisation realisiert. So sind die Autobahnen Transamazônica, Manaus - Porto Velho, Santarém - Cuiabá, Perimetral Norte u.a. entstanden.
2. Eine land-und viehwirtschaftliche Politik für die Region festgelegt.
3. Eine Politik zur Förderung der Forstwirtschaft entwickelt.

Die Analyse dieses Programms auf einer Fläche von annähernd 400 Millionen ha mit etwa 347 Millionen ha dichten Wäldern führt zu folgender Frage:

Was ist die historische Bedeutung dieser Maßnahmen für das brasilianische Volk und welche Konsequenzen wird dies für die künftigen Generationen haben?

Die Antworten wurden sehr intensiv diskutiert und basieren auf folgenden Argumenten:

- a) Die Entschärfung der Sozialprobleme der Region Nordosten
- b) Die Existenz eines reichen Erzlagerpotentials in der Region (RADAM-BRASIL-Projekt 1974,1975 und 1976)
- c) Die Existenz eines hydroelektrischen Potentials der Ordnungsgröße von 100 Millionen Megawatt.
- d) Ein land-und viehwirtschaftliches Potential -insbesondere in den Flußniederungen- in einer Ordnungsgröße von 10 Millionen ha für die Landwirtschaft und 10 Millionen ha für die Viehwirtschaft , außer den verfügbaren Flächen im Gebiet der Terra firme (höher gelegene Flächen).
(PANDOLFO,1978)

2.311 Das forstliche Potential.

Das forstliche Potential des AMAZONAS-Gebietes ist heute die noch verbliebene größte ökologische tropische Einheit der Welt. Es steht einer wachsenden Nachfrage nach tropischen Hölzern in der ganzen Welt, die jetzt etwa 125 Mill. beträgt und bis Ende des Jahrhunderts auf 400 Millionen cbm/J ansteigen wird, gegenüber. (PANDOLFO,1978). Heute partipiziert Brasilien mit kaum 5 Millionen cbm/j auf dem Markt und plant bis Ende des Jahrhunderts sich mit 30 Millionen cbm/J zu beteiligen. Das wird eine Steigerung der Devisen in der Ordnungsgröße von 3 Milliarden Dollar pro Jahr bedeuten (REIS,79)

Es ist wichtig hervorzuheben, daß die Integrierung des Amazonasgebietes im Entwicklungsprozeß ohne Schäden für das ökologische Gleichgewicht vollzogen werden muß. Die komplexen Zusammenhänge von Faktoren wie Niederschläge, Rückhaltung des Wassers durch die Wälder, Verdampfung des Wassers, die Luftzirkulation, die Absorption der Sonnenenergie, die Reflektion u.a. müssen beachtet werden, um die Stabilität dieses energetischen Systems in den Tropen zu gewährleisten.

Die bisherige Okkupation in anderen Gebieten des Landes stellt eine riskante Umwerfung des Gleichgewichtszustandes mit außerordentlich empfindlichen Konsequenzen für die Umwelt und mit einem großen Risiko für die Unumkehrbarkeit dar.

Im Amazonasgebiet ist die Bedeckung durch die Wälder die unabdingbare Voraussetzung für jede Entwicklungspolitik. Die Nichtbeachtung dieser fundamentalen Forderung würde bedeuten, daß die Quellen der erneuerbaren Energien strukturmäßig zerstört werden mit dem Risiko einer totalen Unwohnbarkeit für den Menschen.

Sicher ist, daß eine makrostrukturelle Schätzung des Okkupationsganges im Amazonas langfristig durchdacht werden muß und die Bedeckung durch den Wald nicht unter 50% der Gesamtfläche der Region absinken darf.

Nach PANDOLFO, 1973 ergeben sich folgende Daten:

1. Installierte Nationalparks 600 000 ha
2. Gesetzlich vorgesehene, aber noch nicht errichtete Reserven 16 Millionen ha
3. Von SUDAM vorgeschlagene Waldreserven 21 Millionen ha
4. 18 Flächen für Eingeborenenreservate 20 Millionen ha
5. Wälder für forstliche Nutzungen (vorgeschlagen von SUDAM) 13 Nationalforste für Holzproduktion 39.504.000 ha
6. Gesamtheit der öffentlichen Waldungen 116 Millionen ha.

Wenn die Regierung die Vorschläge der verschiedenen Institutionen für das Amazonasgebiet annimmt, kämen etwa 30% der ganzen Region unter ihre Verwaltung und Verantwortlichkeit.

2.32 Die Savannenregion Brasiliens (Cerrado)

Diese Region dehnt sich vom Süden bis zum Nordosten Brasiliens aus und nimmt einen großen Teil Zentralbrasiliens mit einer Gesamtfläche von 112 Millionen ha ein.

Ab 1970 gewann die Versorgung mit Brennholz aus den Cerradowäldern erhöhte Bedeutung (THIBAU 1972)

Die Exploitation und Nutzung dieses Holzes für Brennmaterial ist eine der wichtigsten Aktivitäten dieser Region. Die Holzkohle wird zur Metallgewinnung verwendet und partipizierte 1971 mit 60% am gesamten Brennmaterial für die Industrien. Dies bedeutet die Nutzung von 130 000 ha Wald für 13,5 Millionen m Holz m.R. (PRODEPEF, 1976).

Mit den wachsenden Energieproblemen soll 1980 die jährliche Nutzung 300 000 ha erreichen.

Diese Perspektive verleiht der Cerradoregion größere wirtschaftliche Bedeutung und wird gleichzeitig einen besseren Schutz der Waldfläche gegen die extensive Nutzung des Feuers zur Erreichung neuer Weideflächen garantieren. Diese Entwicklung wird große Bedeutung für die dauernde Konservierung der Waldflächen erlangen. Die Cerradowälder werden als ständige Energiereserve durch die Bewirtschaftung nach dem Nachhaltigkeitsprinzip und durch die natürliche Verjüngung erhöhten Wert erreichen.

Das Forstliche Forschungszentrum der Federaluniversität von PARANA hat in dem ganzen Federaldistrikt eine Forstinventur durchgeführt. Danach ist der große energetische Wert auf die große Anzahl von Baumarten zurückzuführen (CPF, 1972)

Es wurde ein Vorschlag gemacht, die Aufforstungen in den offenen Flächen der Cerradowälder und den lichten Flächen, in denen der Zuwachs geringer als 0,5 cbm/J/ha ist, zu verstärken.

2.33 Die Araucarienregion

Die Araucariaregion hat die älteste wirtschaftliche Entwicklung in Brasilien. Ihr Anfangspotential war so hoch, daß während der letzten 100 Jahre die Nutzung ihrer Ressourcen einen großen Teil der Entwicklung der Region SUD von Brasilien zur Folge hatte.

Die Araucaria liefert Holz von außerordentlich guter Qualität und hatte immer auf den internationalen Märkten große Nachfrage. Sie ist auch jetzt eines der Hauptprodukte von Brasiliens Export.

Die Förderung einer einseitigen Entwicklung hat aber auch ernste Umweltgefahren. Die nichtkontrollierte Exploitation dieser Ressourcen ohne Beachtung des Nachhaltigkeitsprinzips birgt die Gefahr der vollständigen Vernichtung der Wälder in sich (im 1. Kap. wurde darauf bereits verwiesen).

Besonders im letzten Jahrzehnt hat die Exploitation unzulässige Intensität erreicht.

Die letzte Forstinventur im ganzen Araucariagebiet - durch das Institut für Forstliche Forschung in PARANA - hat folgende Daten ergeben:

	1974	1978
Reine Araucarienwälder, (T_1)	163.729 ha	120.776 ha
teilexploitierte " (T_2)	718.865 ha	444.642 ha

Dies ergibt in 4 Jahren eine Reduktion von 26,2% für T_1 und 38,2% für T_2 oder eine jährliche Rodungsfläche von 10.738 ha/J für T_1 und 68.555 ha/J für T_2 .

Eine Vergleich dieser Zahlen mit der Aufforstung dieser Region ergibt, daß die Exploitation in diesen 4 Jahren 6 mal größer war als die Aufforstung in den letzten 10 Jahren(FUPEF,1978).

Eine andere Studie des CPF über den Holzhandel in Parana ergab, daß die Holzindustrien 1971 mit 27,39% und 1975 mit weniger als 15% an der Ausfuhr des Staates Parana beteiligt waren.

Das bedeutet eine große Abnahme der Holzindustrieprodukte am Export und weist auf die Verknappung des Rohstoffes Holz in der Region hin.

Diese Entwicklung vollzieht sich hauptsächlich in den natürlichen Wäldern. Die Holznutzung der Aufforstungen wird frühestens 1984 auf dem Markt erscheinen. Daraus kann eine ernste Rohstoffverknappung in der Holzindustrie im Süden Brasiliens für die nächsten Jahre entstehen.

2.34 Andere forstliche Regionen

Über die anderen forstlichen Regionen existieren - aus Mangel an Forstinventuren- keine gesicherten Informationen.Hierzu gehören die Wälder der atlantischen Küste, der Nordostküste und die subtropischen Wälder der Region SÜD. Die Region der Steppe (CAATINGA) hat vorläufig nur ökologische Bedeutung. Das wirtschaftliche Potential ist wenig erforscht. Alle diese Regionen haben eine große Schutzfunktion insbesondere entlang den Gebirgsgegenden an der atlantischen Küste. Detaillierte Informationen über ihr Waldpotential stehen erst nach einer nationalen Forstinventur zur Verfügung.

2.4 Die Durchführung der Forstinventuren in Brasilien.

Die forstlichen Inventuren in Brasilien begannen mit dem Vorschlag der

FAO 1953 im Bericht Nr.171.Dieser Vorschlag argumentiert, daß die Entwicklung der Region AMAZONAS die Durchführung laufender Forstinventuren verlangt. Ihre Ergebnisse sollen Regierungsentscheidungen ermöglichen und langfristige Planung erleichtern.

Die erste Probeinventur in der Umgebung von SANTAREM wurde dann durch die SPEVEA (=Superintendencia do Plano de Valorizacao Economica da Amazonia) auf einer Fläche von insgesamt 1.000.000 ha im Süden des Amazonasflusses durchgeführt.

Die Ergebnisse der ersten Inventur wurden 1957 veröffentlicht. Sie bezieht sich auf eine Fläche von 2 Millionen ha zwischen den Flüssen TAPAJOS und XINGU (HEINSDIJK,1957).

Nach den anderen Inventuren, die HEINSDIJK im Auftrag der FAO bis 1961 durchgeführt hat, wurden etwa 15 Millionen ha oder 15% der gesamten Waldfläche erreicht. Später hat HEINSDIJK im Süden Brasiliens Vorinventuren im Araucaria-gebiet und in den Wäldern im Norden des Staates de SPIRITO SANCTO durchgeführt (FAO,1965).

Nach Beendigung der FAO Arbeiten hat der IBDF keine Organisation zur Weiterführung der Forstinventuren errichtet. Seine Aktivität erstreckte sich hauptsächlich auf die Leitung und Aufsicht der steuerlichen Förderungspolitik für die Aufforstung.

Die Inventuren wurden seither in 2 -bis heute bestehenden- Organisationsformen durchgeführt.

a) Arbeits-und Forschungsaufträge

b) Verträge mit Privatfirmen.

Die Regierungsbehörden wie IBDF, INCRA, SUDAM, u.a. sind Auftraggeber und vergeben die Inventuren durch Aufträge an öffentliche Institutionen wie Forstfakultäten, Forschungsinstitute, Forschungsstiftungen u.a. Sie können auch mit - entsprechend spezialisierten- Privatbetrieben Verträge abschließen. Die Vereinbarungen mit den forstlichen Fakultäten und Forschungsinstituten stellen für die Professoren und Forscher die Möglichkeit einer großen, technischen und wissenschaftlichen Entwicklung dar. Auch die Studenten können dadurch an Arbeiten großen Umfangs in verschiedenen forstlichen Gebieten des Landes ihre Ausbildung erweitern.

Das Zentrum für forstliche Forschungen bzw. die Stiftung Forstliche Forschung in PARANA gewann durch die Realisierung und Koordinierung von Forstinventuren - im Auftrag der Regierung- nationalen Ruf in Brasilien.

Die Kosten der Arbeiten verringern sich dadurch, daß die Regierung keine ständige Organisation finanzieren muß.

Bei den Verträgen mit Privatbetrieben können die Ergebnisse relativ kurzfristig gewonnen werden.

Bei jeder neuen Inventur führt die erworbene Erfahrung zur Verbesserung der Verfahrensqualität.

Nachteile sind:

Die forstlichen Organe müssen immer neue Mittel für die Realisierung der Inventuren bereitstellen. In vielen Fällen müssen die Mittel durch die Finanzbehörden als außergewöhnliche Ausgaben genehmigt werden und die bürokratische Handhabung erschwert dann den Beginn der Arbeiten.

Die Stichprobenverfahren bei den Inventuren sind nicht einheitlich und es ist deshalb schwierig, die Resultate auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen. Für die Nationalforstinventur müsste eine zentrale Institution innerhalb des IBDF gegründet werden, die für ein so großes Land wie Brasilien die Verantwortung und die Koordinierung übernimmt.

2.5 Die Problematik der Planung der Forstinventur in natürlichen Wäldern.

Die Planung der Inventuren in natürlichen Wäldern stellt eine komplexe Aufgabe dar. Durch die geringe Kenntnis der Waldverhältnisse kann nicht auf Präliminarinformationen, die für die Schätzung und Planung der Inventur von großem Wert sind, gerechnet werden.

In den letzten 10 Jahren hat sich die Aufmerksamkeit auf die Kriterien für die Wahl der geeignetsten Stichprobenverfahren für die besonderen Bedingungen konzentriert. So wurde nach und nach für die Wälder AMAZONAS das Gruppenstichprobenverfahren und für die Cerradowälder und die genutzten Wälder im Süden Brasiliens die Stratifizierung entwickelt.

Nach den Ergebnissen der ersten Inventuren ergab sich die Notwendigkeit, manche Probleme neu zu lösen:

2.51 Identifizierung der Baumarten

Dieses Problem ist bei den Inventuren in natürlichen Wäldern eines der schwierigsten. Das Vorkommen einer außerordentlich großen Zahl

von Baumarten erlaubt keine leichte Identifizierung während der Außenarbeiten. Eine Identifizierung an Ort und Stelle durch einen Dendrologen mit Hilfe morphologischer Charakteristiken wäre die ideale Form. Diese Lösung ist aber - bei der beschränkten Zahl von Spezialisten im Land unbefriedigend und bei dem Mangel an Spezialstudien über die brasilianischen Wälder unmöglich. Durch Heranziehung von sogenannten Waldläufern ("Mateiros") oder praktischen Baumkennern von jeder Region als Begleitung der Arbeitsmannschaften würde das Problem gelöst.

Der Arbeitsablauf ist:

- a) Jeder Inventurmansschaft ist ein praktischer Baumkenner, der alle Baumarten durch örtliche Benennung identifiziert, beigegeben.
- b) Von jeder identifizierten Baumart wird botanisches Material gesammelt und eine dendrologische Karte mit den morphologischen Charakteristiken hergestellt. Dieses Material wird an ein Forschungsinstitut eingeschickt, um die botanische Identifizierung zu ermöglichen.
- c) Alle Bäume werden nach dem dendrologischen Endbericht mit dem örtlichen Namen identifiziert.

Dieses Verfahren ist - ungeachtet möglicher Fehler - die beste Lösung zur Baumartenidentifizierung. Eine fehlerfreie Identifizierung wäre sehr zeitraubend und deshalb für den Fortgang der Inventur sehr hinderlich.

Das beschriebene Verfahren arbeitet mit einem Ergebnis von 70-80% richtig geschätzten Baumarten, wobei auch Baumarten, die kaum 10% der Gesamtzahl erreichen, berücksichtigt sind. (PELLICO und CARNEIRO 1978).

2.52 Messungen der Bäume im Wald

a) Durchmessermessung

Die Durchmesser werden im tropischen Wald bei regelmäßigen Bäumen - wie international üblich - bei 1,3 m über dem Boden gemessen. Bei häufig vorkommenden unregelmässigen Bäumen mit verlängerten Wurzel ausweitungen kann der Durchmesser bis in eine Höhe von 3 m verzerrt sein. Dieses Problem wurde in der Literatur sehr oft diskutiert (PRODAN, 1965, LOETSCH, ZÜHRER und HALLER 1973 und FAO 1973). Bei den tropischen Forstinventuren in Brasilien werden allgemein die Umfänge mit leicht zu bedienenden Bändern mit Durchmessereinteilung gemessen.

b) Höhenmessung

Die Höhen werden bis zum Kronenansatzpunkt oder bis zu einem Zopfdurchmesser von etwa 10 cm gemessen. Die ermittelten Höhen werden als verwertbare Höhen definiert. Die Gesamthöhen werden - wegen der schlechten Sicht im Kronenraum und der Nichtverwendbarkeit der Kronenzweige - nicht gemessen. Bei späteren Forstinventuren sollten unbedingt die Gesamthöhen gemessen werden. Die Höhen werden mit dem Höhenmesser BLUME-LEISS oder dem Höhenmesser HAGA gemessen.

Mit dem Spiegelrelaskop von BITTERLICH ist in den tropischen Wäldern die Visur oft unmöglich.

2.53 Verfahren zur Massenschätzung in Brasilien

Die Verfahren zur Massenschätzung wurden in Brasilien - im Vergleich zur wissenschaftlichen Literatur vieler Länder - wenig diskutiert.

a) Verfahren der unechten Formzahl

Das - bis 1970 am meisten angewandte - Verfahren beruhte auf der Messung einer Anzahl von Bäumen zur Ermittlung der Schaftmassen oder Stammassen mit den Formeln von SMALIAN, HUBER oder NEWTON und den daraus ermittelten unechten Formzahlen ($f_{1.3}$) zur Berechnung der Masse.

HEINSDIJK 1959 erreichte eine Verbesserung dieser Verfahren durch die Ausgleichung einer Funktion:

$$f_{1.3} = f(d, h)$$

Dadurch konnte diese Formel für verschiedene Durchmesserklassen für die Araucaria im Süden Brasiliens und für Baumartengruppen im Amazonas verwendet werden.

Das Volumen wurde geschätzt durch die Formel:

$$V = g \cdot h \cdot f_{1.3} \quad (25.0)$$

Bei den ersten Inventuren durch die Forstliche Fakultät zeigten sich Schwierigkeiten bei der Generalisierung dieser Funktion, die im allgemeinen - besonders in tropischen Wäldern - nicht alle Standorte berücksichtigt. Dadurch wurden die Fehler unzulässig groß.

b) Das Verfahren einfacher volumetrischer Gleichungen

Seit 1970 wurden volumetrische Gleichungen in großem Umfang verwendet. Berechnungen der Volumengleichungen gehören seither zu den normalen Aufgaben

jeder Forstinventur. Die Funktionen wurden für jede inventarisierte Fläche entwickelt und brachten eine merkliche Reduzierung der Schätzfehler. Das Verfahren beruhte auf:

1. Eine Mindestzahl von 100 Bäumen pro Baumart oder - bei tropischen Wäldern - Baumartengruppen wurde gemessen und die Masse berechnet.

Die Daten wurden durch optische Instrumente - wie z.B. dem Relaskop - überprüft, wobei aus den vorgenannten Gründen Schwierigkeiten entstanden. Dann wurden die Bäume mit Hilfe eines - aus der Meßkluppe adaptierten - Apparates von einem hierfür ausgebildeten Mitarbeiter gemessen. Die zu überprüfenden Bäume werden im Abstand von 2 m bis zum Gipfel oder bis zu der festgelegten - kommerziell verwertbaren - Höhe gemessen. Diese Messungen werden mit einem Umfangbandmaß mit und ohne Rinde registriert.

Das Verfahren ist sehr genau und zuverlässig. Der Mitarbeiter braucht für diese Arbeit nicht spezialisiert zu werden und die Kosten sind nicht höher als bei der Anwendung optischer Methoden. Die Leistung beträgt etwa 6 Bäume pro Tag.

2. Die gewonnenen Daten werden mit der Formel von SMALIAN zur Bestimmung der Massen ausgewertet.
3. Die Auswahl einer volumetrischen Funktion war immer schwierig. Jede Lage verlangt eine detaillierte Studie der Verteilungen und der Beziehungen, um schließlich zu einer Funktion $V = f(d, h)$ zu kommen.

Die volumetrischen Funktionen wurden aus der großen Anzahl von verfügbaren Funktionen aus der Literatur ausgewählt. Eine Aufzählung dieser Funktionen kann bei LOETSCH, ZÖHRER und HALLER, (1973) nachgesehen werden.

Alle vorgeschlagenen Formeln in Funktion von Durchmesser und Höhe einfacher und kombinierter Form wurden in ein Gesamtprogramm eingebaut und gleichzeitig für die ermittelten Daten ausgewertet. Das Auswahlkriterium der zu verwendenden Funktion richtete sich nach der besten Anpassung (R^2) oder die kleinste Varianz der Schätzung $s_{y/x}^2$.

Dabei werden in der Funktion nur statistisch signifikante Glieder weitergeführt. So wurde die Wahl eines einfacheren und genaueren Modells für jede inventarisierte Fläche gewährleistet.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, daß in den meisten Fällen mit der Formel von SPURR, 1952:

$$v = a + bd^2h$$

die beste Anpassung erreicht wurde.

Die Ausgleichung komplizierterer Modelle wurde notwendig für den Fall der Inhomogenität der Varianz.

Die Beziehung:

$$v = f(d^2h)$$

wurde durch den BARTLETT-Test für Durchmesserklassen statistisch überprüft. Dies führte zu gewogenen Gleichungen, die CUNIA 1964 vorschlug.

c) Das Verfahren der gewogenen volumetrischen Gleichungen

Dieses Verfahren wurde zum ersten Mal in den natürlichen Araucariawäldern im Süden Brasiliens mit sehr befriedigenden Ergebnissen von SIQUEIRA, 1977 angewandt und in einer Dissertation - unter Leitung des Verfassers - dargestellt.

In 9 verschiedenen Regionen aus 3 Südstaaten wurden gleichzeitig die Gewichte in der Form:

$$w_i = \frac{1}{d^2h} , \quad w_i = \frac{1}{d^4h^2} \quad \text{und} \quad w_i = \frac{1}{dh}$$

Die Gewichtung $\frac{1}{dh}$ ergab die beste Lösung. Die sich ergebende Gleichung ist dann:

$$v' = \frac{a}{dh} + bd \quad (25.1)$$

wobei: $v' = \frac{v}{dh}$

2.54 Synthese der Theorie für die Schätzfunktionen von Einzelbäumen

Das Problem der Schätzungen des Gesamt- und Teilschaftes wurde in der Literatur ausführlich dargestellt. Dabei lassen sich 4 Verfahren grundlegend unterscheiden:

1. Die Formzahl

Das Volumen wird geschätzt über eine Volumengleichung mit den Variablen Durchmesser und Höhe sowie über einen Reduktionsfaktor, der die Form des Schaftes darstellt. Das ist das älteste Verfahren zur Volumenschätzung

abgeleitet aus dem biometrischen Prinzip der Rotationskörper:

$$v_1 = \frac{\pi}{4} d_x^2 \cdot h \lambda_x \quad (25.2)$$

wobei:

x = eine kontinuierliche Variable, sodaß $0 \leq x \leq 1$

v_1 = Volumen des Baumes

d_x = Durchmesser mit Rinde, gemessen im Punkt x des Baumes
Durch internationale Vereinbarung ist $x = 1,3$ m und $d_{1,3}$ =
der Durchmesser in Brusthöhe

h = Höhe des Baumes (bei Teilvolumen $h = h_p$)

λ_x = komplementäre Variable für die Formberücksichtigung

Ist das Volumen eines Zylinders mit dem Durchschnitt d_x :

$$w_x = \frac{\pi}{4} d_x^2 \cdot h \quad (25.3)$$

$$\text{dann ist:} \quad v_1 = w_x \lambda_x \quad (25.4)$$

daraus kann λ_x abgeleitet werden:

$$\lambda_x = \frac{v_1}{w_x} \quad (25.5)$$

Bei dieser Formel wird vorausgesetzt, daß das wirkliche Volumen v_1 bekannt ist, um λ statistisch bestimmen zu können.

PRODAN 1965 erläuterte die Theorie zur Erhaltung des wirklichen Volumens. Dabei wird eine Folge von Durchmessern d_i in beliebig kleinen Abständen l gemessen, um das wirkliche Baumvolumen durch Summierung bzw. Integration zu erhalten:

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{\pi}{4} (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_k^2) \cdot l \\ &= \pi (y_1^2 \cdot l + d_2^2 \cdot l + \dots + y_k^2 \cdot l) \end{aligned} \quad (25.6)$$

$$v_1 = \pi \int_{x=0}^l y^2 \cdot dx$$

wobei:

$l = d_x$ = unendlich kurzer Abschnitt

In der Praxis wird l so gewählt, daß eine kleinstmögliche Zahl von Abschnitten mit statistisch gesicherter Genauigkeit erreichbar ist. Unter diesen Bedingungen ist:

$$v_1 = \pi \sum_{x=0}^l y^2 \cdot \Delta x \quad l = \Delta x \quad (25.7)$$

Zur Berechnung von V_1 sind die Formeln von SMALIAN, HUBER und NEWTON die bekanntesten. Durch diese Daten können die entsprechenden Werte von Δx berechnet werden. Von besonderer Bedeutung ist hier das Verfahren von HOHENADL zur Bestimmung der echten Formzahl.

Durch die Verweddung von relativen Durchmessern und Höhen des Schaftes werden vergleichbare Grössen erreicht:

a) Echte Formzahl von HOHENADL:

$$\lambda_x = \frac{V_1}{w_x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i^2 \quad (25.8)$$

wobei: n = Anzahl der relativen Sektionen entlang des Schaftes

$$\eta_i = \frac{d_x}{d(x)} \quad \text{für } x = 0,1 \quad (25.9)$$

Im Falle von $x = 0,1$ und $n = 5$ ergibt sich: $d(x) = d_{0,1}, w_x = w_{0,1}$

und:

$$\lambda_{0,9} = 0,2 \left[1,000 + \left(\frac{d_{0,7}}{d_{0,9}} \right)^2 + \left(\frac{d_{0,5}}{d_{0,9}} \right)^2 + \left(\frac{d_{0,3}}{d_{0,9}} \right)^2 + \left(\frac{d_{0,1}}{d_{0,9}} \right)^2 \right] \quad (25.10)$$

b) Unechte Formzahl

Diese Formzahl wird immer auf den Durchmesser in Bruthöhe bezogen folglich:

$$\lambda_{1,3} = f_{1,3} = \frac{V_1}{w_{1,3}} \quad (25.11)$$

II. Volumetrische Gleichungen

Nach den Lösungen unter I kann λ_x durch eine Funktion $\lambda_x = f(d, h, z_x)$

oder: $\lambda_x = f(d, h)$ oder auch $\lambda_x = f(d)$

ausgeglichen werden.

In diesem Fall ist:

$$\lambda_x = f(d) \text{ und } h = f(d) \text{ und } V_2 = f_2(d) \quad (25.12)$$

Im Fall von $\lambda_x = f(d, h)$ und $h = f(d)$ ergibt sich:

$$V_2 = f_2(d, h) \quad (25.13)$$

Schließlich, wenn $\lambda_x = f(d, h, z_x)$ oder $\lambda_x = f(d, z_x)$

dann ist:

$$V_2 = f_2(d, h, z_x) \quad (25.14)$$

wobei:

z_x = irgendeine zusätzliche, am Baum gemessene, charakteristische Zahl.

Abhängig von der vorgeschlagenen Ausgleichsfunktion für λ_x kann

die Variable z_x in den volumetrischen Formeln in zwei Formen erscheinen:

a) Zusätzliche Variable

z_x wird zusätzlich am Baum bestimmt wie z.B.:

h_k = Höhe des Kronenansatzpunktes bis zum Gipfel,

$d_{0,5 h}$ = Durchmesser in halber Höhe des Baumes

d_7 = Durchmesser gemessen in 7 m am Baum

B = doppelte Rindenstärke gemessen am Brusthöhendurchmesser,

k_x = Quotient zwischen 2 Durchmessern bezeichnet als Formquotient:

$$k_x = \frac{d_x}{d(x)}$$

Der Formquotient wird meist bei Baumarten von besonderem Interesse bestimmt.

b) Kombinierte Variablen

Die Formeln setzen sich zusammen aus kombinierten Größen:

$z_x = d^2 h, dh^2, \log d, \log h, d \cdot d_{0,1 h} \cdot h, d \cdot h \cdot B, d^2 h_k$ usw.

c) Formquotienten

Die Bedeutung des Formquotienten k_x als Variable wurde von SCHIFFEL 1899 zunächst für die Massenschätzung erkannt:

$$k_{0,25 h/1.3} = \frac{d_{0,25 h}}{d} \quad (25.15)$$

$$k = \frac{d_{0,5}}{d} \quad (25.16)$$

$$k_{0,75 h/1.3} = \frac{d_{0,75 h}}{d} \quad (25.17)$$

Ausgehend von diesem Quotienten hat SCHIFFEL folgende Ausgleichsfunktionen entwickelt:

$$k_{0,25 h/1.3} = 0,61 k + \frac{0,41}{kh} + 0,41 \quad (25.18)$$

$$k_{0,75 h/1.3} = 0,865 \cdot k - \frac{0,2}{k \cdot h} - 0,14 \quad (25.19)$$

Als absoluten Formquotienten hat JONSON 1910 folgende Form vorgeschlagen:

$$k_a = \frac{d_{0,5}^{(h+1,3)}}{d} \quad (25.20)$$

Nach der Theorie der echten Formzahl von HOHENADL kann der Ausdruck für den Formquotienten in allgemeiner Form geschrieben werden:

$$k_{0,i/0,1h} = \frac{d_{0,i}^{1h}}{d_{0,1h}} \quad (25.21)$$

GIRARD, 1933 hat in den USA einen Formquotienten zur Konstruktion von Tabellen für die kommerziell verwertbaren Massen oder Volumen vorgeschlagen. Dieser Quotient leitet sich ab aus dem Zopfdurchmesser des ersten Stammes ohne Rinde (d_u) und dem Brusthöhendurchmesser mit Rinde:

$$k_1 = \frac{d_u}{d} \quad (25.22)$$

Später wurden die unechten Formquotienten generalisiert und die Durchmesser in absoluter Höhe des Baumes (5m, 7m usw.) gemessen. (MITSCHERLICH, 1942)

$$k_1 = \frac{d_1}{d} \quad (25.23)$$

POLLANSCHÜTZ 1965 nahm den Durchmesser in 0,3 der Baumhöhe:

$$k_{0,3/1.3} = \frac{d_{0,3h}}{d} \quad (25.24)$$

d) Formzahl

Wichtig für die Entwicklung der volumetrischen Gleichungen war die Entwicklung der Funktionen, die die Form des Stammes ausdrücken. Die älteste Gleichung wurde von KUNZE vorgeschlagen:

$$f = k - c \quad (25.25)$$

Später wurden dann die nachstehenden Formeln bekannt:

$$\text{SCHIFFEL (1899)} \quad f = a + bk + \frac{c}{k \cdot h} \quad (25.26)$$

$$\text{oder} \quad f = a + b \cdot k^2 + \frac{c}{k \cdot h} \quad (25.27)$$

$$\text{SIMONY (1904)} \quad f = a + b \cdot k + ck^2 \quad (25.28)$$

$$\text{HOHENADL (1924)} \quad f_{o,1} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \eta_i^2 \quad (25.29)$$

$$\text{PRODAN-KRENN (1944)} \quad f = a + b \cdot k_{o,5h/o,1h} \quad (25.30)$$

$$\text{PRODAN (1944)} \quad f = a + b \cdot k_{o,5h/o,1h} + c \cdot k_{o,5h/o,1h}^2 \quad (25.31)$$

$$\text{POLANSCHÜTZ (1961)} \quad f = a + b \cdot k_{o,3h/1,3}^2 + c \cdot \frac{h}{d^2} \quad (25.32)$$

$$\text{POLANSCHÜTZ (1965)} \quad f = a + b \cdot k_{o,3h/1,3}^2 + c \cdot k_{o,1h/1,3} \cdot k + d \cdot \frac{h}{d^2} \quad (25.33)$$

und andere.

e) Volumetrische Funktionen

Eine theoretische Ableitung zur Erreichung einer guten Anpassung wurde von OGAYA vorgeschlagen (1968).

LOETSCH, ZÖHRER und HALLER 1973 haben die wichtigsten Funktionen nach Beteiligung der unabhängigen Variablen geordnet.

III Absolute kontinuierliche Schaftformreihe

Das Baumvolumen wird über eine Schaftkurve in Funktion von Durchmesser, Höhe und zusätzlichen Variablen geschätzt. Im allgemeinen kann dieses Verfahren wie folgt dargestellt werden:

$$d_x = f_3(d, h, z_x) \quad (25.34)$$

In diesem Fall ist d_x der Durchmesser ohne Rinde in der Höhe h_x am Baum, so daß x eine kontinuierliche Variable zwischen 0 und 1 ist.

Das Volumen ist dann gegeben durch:

$$V = \frac{\pi}{4} \int_0^h d_x^2 \cdot dh \quad (25.35)$$

Dieses Verfahren wird in der Praxis wenig verwendet, weil es schwierig ist, eine einzige Funktion an alle vorkommenden Formen anzupassen.

GROSENBAUGH 1965 hat die Einflüsse von Durchmesser, Höhe und Form auf die Koeffizienten einer beliebigen Polynomausgleichsfunktion dargelegt.

Eine Anwendung dieser Methode wurde zur Schätzung von Teilvolumina bei der Klassifizierung von Bäumen in Qualitätsklassen für die *Araucaria angustifolia* und eine Laubartengruppe bei der PINHEIRO-Inventur im Süden Brasiliens vorgeschlagen (FUPEF, 1978).

Die Formulierung von GRAY erläutert die durch die verschiedenen Durchmesser und Höhen bedingte große Varianz der Ausgleichsfunktion.

Die Ausgleichung erfolgt in 2 Phasen:

a) Die Gleichung für die Schaftkurve:

$$d_x = a + b \cdot h_x \quad (25.36)$$

Dabei werden die Konstanten a und b als Variable in Funktion von Durchmesser und Höhe betrachtet.

b) Die Koeffizienten a und b sind nach Durchmesserklassen ausgeglichen, sodaß:

$$a = f(d, h)$$

$$b = f(d, h)$$

Für den Süden Brasiliens wurden die Modelle vorgeschlagen:

$$a = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2} \quad (25.37)$$

$$b = \gamma_0 d^{\gamma_1} h^{\gamma_2} \quad (25.38)$$

In der PINHEIRO-Inventur ergab sich für die ganze Region Südbrasilien:

1. Für die Araucaria:

$$a = 1,20627 \cdot d^{0,9855} h_c^{-0,0531}$$

$$b = 0,89864 \cdot d^{-0,0360} h_c^{0,0283}$$

2. Für eine Laubbaumartengruppe:

$$a = 1,2124 \cdot d^{0,9975} h_c^{-0,0606}$$

$$b = 0,8994 \cdot d^{-0,0584} h_c^{0,0317}$$

IV Relative kontinuierliche Formreihe

Das Volumen wird durch die Anpassung einer Formkurve in Funktion einer relativen Durchmesserreihe bezogen auf eine relative Höhenreihe ermittelt:

$$A_x = f_y(B_x) \quad (25.39)$$

wobei:

$$A_x = \frac{d_x}{d(x)} \quad \text{relative kontinuierliche Durchmesserreihe, wo } d(x) \text{ so gewählt wird, daß } x \text{ zwischen 0 und 1 liegt und}$$

$$B_x = \frac{h_x}{h} \quad \text{relative Reihe der Höhen}$$

Das Volumen ist gegeben durch:

$$V = \pi \int_0^1 [f(x)]^2 \cdot dx \quad (25.40)$$

Ein Versuch, eine Verbindung dieser relativen Reihen zu bekommen, wurde von ALTHERR 1953 gemacht. Er hat dazu ein System nach dem Rechenschieberprinzip eingeführt, wobei die Durchmesser und Höhen in absoluten Werten aus den relativen Werten abgeleitet werden.

Später wurde von anderen Verfassern die Ausgleichung durch eine Polynomfunktion vorgeschlagen.

OSUMI 1959 hat ein Polynom 3. Grades für die Baumart *Kryptomeria japonica* verwendet. WUTT 1961, PRODAN 1965, SCHÖPFER 1966, PETERS 1971 haben für verschiedene Baumarten Ausgleichspolynome bis zum 5. Grad vorgeschlagen. Diese haben den Vorteil, die Schaftform in einer einzigen Funktion darzustellen. Das erleichtert ihre Integration mit zufriedenstellender Genauigkeit:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 \quad (25.41)$$

wobei:

$$y = \frac{dx}{d(x)} = A_x \quad \text{und} \quad x = \frac{h_x}{h} = B_x$$

PETERS 1971 und HOSOKAWA 1976 haben dieses Verfahren für die *Araucaria araucana* für Chile bzw. für die *Araucaria angustifolia* für Brasilien mit guten Ergebnissen verwendet.

MUNROE 1968 hat das Verfahren für die Nadelbaumarten von Canada vorgeschlagen. Dabei wird der Durchmesser ohne Rinde durch eine parabolische Funktion ausgedrückt:

$$\left(\frac{dx}{d} \right)^2 = a + b \frac{h_x}{h} + c \frac{h_x^2}{h^2} \quad (25.42)$$

und

$$y^2 = a + b x + c x^2 \quad (25.43)$$

Es ist zu beachten, daß die relative Reihe der Durchmesser mit Rinde auf den Brusthöhendurchmesser bezogen wird (unechte Reihe). Nach Auffassung des Verfassers kann die Durchmesserschätzung mit einem Fehler von $\pm 2-4$ cm behaftet sein.

PRODAN 1965 stellt fest, daß mit einem Ausgleichspolynom 3. Grades für die

Fichte nicht immer befriedigende Durchmesserschätzungen möglich sind.

PREÜßNER 1974 entwickelte die Darstellung der Kurvenform. Die Schaftkurve wurde in 4 Abschnitte getrennt durch eine Parabel ausgeglichen. Die Durchmesserreihe wurde in Funktion vom Durchmesser in halber Höhe ausgedrückt. Die von ihm vorgeschlagenen Funktionen sind:

$$y_1 = a_{11} \frac{1}{\sqrt[10]{1 + b x}} \quad 0 \leq x \leq 0,25 \quad (25.44)$$

$$y_2 = a_{21} \sqrt{1-x} \quad 0,25 \leq x \leq 0,60 \quad (25.45)$$

$$y_3 = a_{31} \sqrt[4]{(1-x)^3} \quad 0,60 \leq x \leq 0,75 \quad (25.46)$$

$$y_4 = a_{41} \sqrt[6]{(1-x)^5} \quad 0,75 \leq x \leq 1,0 \quad (25.47)$$

wobei:

$$x = \frac{h_x}{d_{0,5h}} \quad \text{relative Durchmesserreihe und}$$

$$x = \frac{h_x}{h} \quad \text{relative Höhenreihe}$$

Das Gesamtvolumen des Baumes wird durch die Integration der einzelnen Abschnitte bestimmt.

Dieses Verfahren - wie auch das unter III- ist von großem Nutzen zur Schätzung von Teilmassen wie z.B. bei der Konstruktion von Massentafeln für verwertbare Handelssortimente. Ein Beispiel dafür ist in der Arbeit von PETERS enthalten.

2.55 Beurteilung der 4 Verfahren zur Massenschätzung

Es soll zuerst das Verfahren I, bei welchem das Volumen durch die Formzahl λ_x bestimmt wird, diskutiert werden.

Aus der klassischen Formel von HOHENADL ist leicht zu ersehen, daß die echte Formzahl in der Form eines Quotienten ausgedrückt werden kann:

$$\lambda_x = \frac{d_q^2}{d^2(x)} \quad (25.48)$$

wobei:

$$d_q^2 = \sum_{i=1}^n \frac{d_x^2}{n} \quad \text{quadratisches Mittel der Durchmesser} \quad (25.49)$$

Im Falle von $n = 5$ ist

$$d_q^2 = \frac{d_{0,9}^2 + d_{0,7}^2 + d_{0,5}^2 + d_{0,3}^2 + d_{0,1}^2}{5}$$

Zusätzlich kann festgestellt werden, daß dieser quadratische Formquotient vielseitig verwendet werden kann.

PRODAN 1965 faßt dies wie folgt zusammen:

1.	$x = 1,30 \text{ m}$	$\lambda_{1,3} = f_{1,3}$	unechte Formzahl
2.	$x = 0,1 \text{ h}$	$\lambda_{0,9}$	echte Formzahl
3.	$x = 0$	$\lambda_{1,0}$	absolute Formzahl nach RINIKER
4.	$x = (x)$	$\lambda_{(x)} = 1$	einheitlicher Formfaktor

Im Falle der einheitlichen Formzahl entspricht die Schaftmasse dem Inhalt eines Zylinders mit dem mittleren quadratischen Durchmesser des Baumes (d_q):

$$V = \frac{\pi}{4} d_q^2 \cdot h = w_q \quad (25.50)$$

Beim Verfahren III wird die relative Formzahl, beim Verfahren IV die echte Formzahl zur besseren Schätzung von d_q^2 durch die Integration von $f(x)$ verwendet und um Verwechslungen zu vermeiden soll $f(x) = f(t)$ gesetzt werden:

$$v_3 = \frac{\pi}{4} \int_0^h [f(t)]^2 d_t = \frac{\pi}{4} \int_0^h d_x^2 dt = \frac{\pi}{4} (d_q^2 \cdot h)$$

$$v_3 = \frac{\pi}{4} d_q^2 \cdot h = w_q \quad (25.51)$$

folglich:

$$v_4 = \frac{\pi}{4} h \int_0^1 [f(t)]^2 d_t = \frac{\pi}{4} h \int_0^1 d_x^2 d_t = \frac{\pi}{4} h d_q^2$$

$$v_4 = \frac{\pi}{4} d_q^2 h = w_q \quad (25.52)$$

Eine praktische Begrenzung dieser Lösung besteht in der Schwierigkeit, den Durchmesser d_q auf der Schaftkurve festzustellen.

KO 1968 hat ausführlich die Beziehung zwischen d_q und anderen wichtigen Variablen des Baumes analysiert. Eine bessere Beziehung wurde von ihm durch die Funktion $d_q = f(d_{0,1})$, $d_q^2 = f(d_{0,7})$ erhalten.

Vom praktischen Standpunkt aus ist eine Lösung $d_q^2 = f(d_{1,3})$ vorteilhaft. KO hat diese Funktion durch eine Gerade oder durch eine Parabel ausgeglichen.

$$d_q^2 = a + b \cdot d_{0,i}^2 \quad (25.53)$$

oder:

$$d_q^2 = a + b \cdot d_{0,i} + c \cdot d_{0,i}^2 \quad (25.54)$$

oder einfacher:

$$d_q = a + b \cdot d_{0,i} \quad (25.55)$$

und für $d_{0,i} = d_{1,3}$:

$$d_q^2 = a + b \cdot d_{1,3}^2 \quad (25.56)$$

wobei:

$$d_q^2 = a + b \cdot d_{1,3} + c \cdot d_{1,3}^2 \quad (25.57)$$

wobei:

$$d_q = a + b \cdot d_{1,3} \quad (25.58)$$

Dieses Verfahren ist anwendbar, auch wenn keine programmierbaren Computer für kompliziertere Funktionen zur Verfügung stehen.

Durch Einführung von Formel (25.56) in (25.50) resultiert:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot h (a + b \cdot d_{1,3}^2)$$

$$V = a_0 \cdot a \cdot h + a_0 \cdot b \cdot h \cdot d_{1,3}^2$$

$$V = h (\beta_0 + \beta_1 d_{1,3}^2) \quad (25.59)$$

ebenso resultiert aus den Formeln (25.57) und (25.58) die Formel:

$$V = h (\beta_0 + \beta_1 d_{1,3} + \beta_2 \cdot d_{1,3}^2) \quad (25.60)$$

Die Ausgleichung dieser Funktionen mit den Daten der Baumart *Araucaria angustifolia* wird in Kap. 5 dargestellt.

2.56 Neues Verfahren für die Ausgleichung der Schaftkurve mit relativen transformierten Reihen

Wie im Verfahren IV zur Massenschätzung (s.S.56) dargestellt wurde, kann eine Funktion dem Verlauf der Schaftkurve angepaßt werden.

Die bisher vorgeschlagenen Anpassungsfunktionen können - infolge ihrer Kompliziertheit- nur durch leistungsfähige elektronische Datenverarbeitung angepaßt werden.

Zur Vereinfachung des Problems wird versucht, durch eine neue transformierte Kurve-unter Verwendung der Quotienten der echten relativen Reihe-eine Lösung zu finden. Bei diesem Konzept ist Voraussetzung, daß es mit Hilfe einer transformierten Schaftkurve möglich sein müsste, durch die additiven oder komplementären Eigenschaften der arithmetischen Reihe einfachere Ausgleichsformen zu finden. Diese Voraussetzung führte zu der nachstehend erläuterten einfacheren Schaftkurve.

2.561 Die transformierte Schaftkurve

Es soll vom Durchmesser des Baumes in relativer Höhe ausgegangen werden, sodaß eine relative Reihe:

$$A_x = \frac{d_x}{d(x)}$$

oder nach HOHENADL:

$$\frac{d_x}{d_{0,1h}}$$

Gleichzeitig wird auch eine relative Höhenreihe verwendet:

$$B_x = \frac{h_x}{h}$$

Die Durchmesser zwischen der Basis des Baumes $h_{0,0}$ und in halber Höhe $h_{0,5}$ werden mit $d_{0,1}$ die Durchmesser zwischen $h_{0,5}$ und $h_{1,0}$ mit $d_{0,j}$ bezeichnet. Ihre Form kann graphisch in einem Koordinatensystem - wie in Abb.25.1-dargestellt werden. Die Beziehung :

$$A_x = f(B_x)$$

erscheint in einer relativen Schaftkurve(Abb.25,1)

Die transformierten Reihen ergeben sich durch Addition und Subtraktion der -gegenüber der halben Höhe symmetrisch entfernten- Formquotienten. Diese neuen Reihen können für die Summe der Formquotienten mit AS_y bzw. AD_y für die Differenz zwischen ihnen bezeichnet werden.

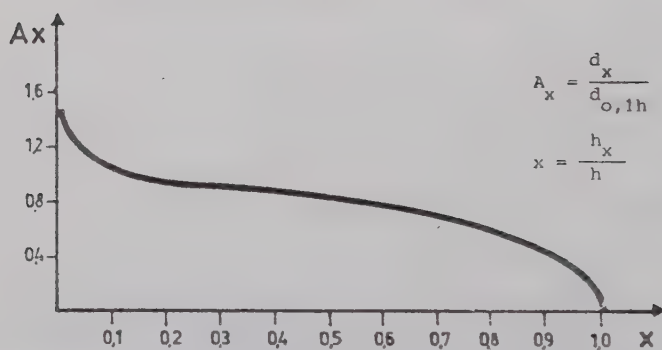


Abb.25.1 Relative Formreihe der Baumart *Araucaria angustifolia*

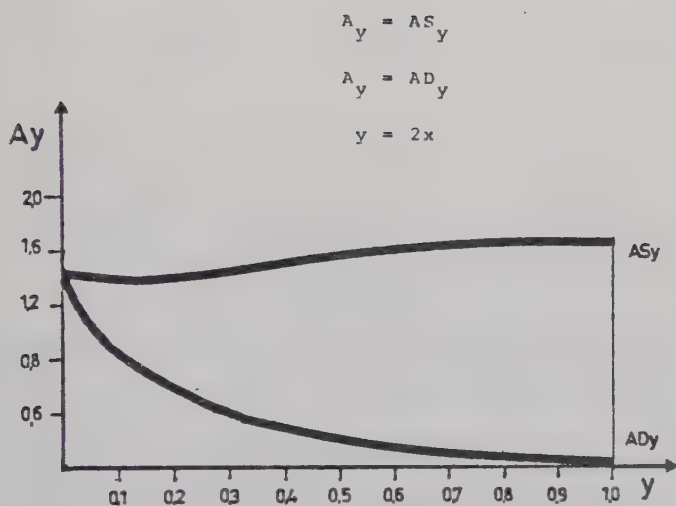


Abb. 25.2 Transformierte Formkurve der Baumart
Araucaria angustifolia

$$AS_y = \frac{d_{o,i}}{d_{o,1h}} + \frac{d_{o,j}}{d_{o,1h}} = A_{o,i} + A_{o,j} \quad (25.61)$$

$$AD_y = \frac{d_{o,i}}{d_{o,1h}} - \frac{d_{o,j}}{d_{o,1h}} = A_{o,i} - A_{o,j} \quad (25.62)$$

wobei:

$$AS_o = A_{o,o} + A_{1,o}$$

$$AD_o = A_{o,o} - A_{1,o}$$

$$AS_{o,2} = A_{o,1} + A_{o,9}$$

$$AD_{o,2} = A_{o,1} - A_{o,9}$$

⋮

⋮

$$AS_{1,o} = 2 A_{o,5}$$

$$AD_{1,o} = A_{o,5} - A_{o,5} = 0$$

Zur leichteren Integrierung der resultierenden Funktion wird die Variable y für die transformierte relative Höhenreihe eingeführt,

wobei:

$$y = 2x \text{ und infolgedessen, wenn } x = 0,5, \quad y = 1,0$$

Die resultierenden Formkurven sind in Abb.25.2 dargestellt. Sie können mit einfachen Parabeln ausgeglichen werden.

2.562 Funktionen für die transformierten Schaftkurven

Ausgehend von der allgemeinen Parabelgleichung $A_y = p \cdot y$ (25.63)

wurde diese jeder Kurvenform angepasst.

Für jede Kurve ergeben sich 2 Gleichungen. Die Grenzen fallen zusammen, wo die Krümmung sich sichtlich ändert. So liegt ein Bereich y zwischen 0 und 0,2 und ein anderer zwischen 0,2 und 1,0.

Es ist zu bemerken, daß für den Bereich $0 \leq y \leq 0,2$ sowohl für

AS_y als auch AD_y die gleiche Gleichung verwendet werden kann.

Dabei sind 3 Punkte der Gleichung (25.63) notwendig. Die endgültige Form jeder dieser Gleichungen wurde durch die Analyse der Bedingungen aus Abb. 25.2 unter Berücksichtigung folgender Charakteristiken dargestellt:

- a) Ein gemeinsamer Anfangspunkt $AS_0 = AD_0$
 b) Änderung der Kurvenform (Wendepunkt) bei $y = 0,2$
 c) beide enden bei $y = 1,0$ mit den Abszissen $AS_{1,0} = 0$ und $AD_{1,0} = 0$

Die resultierenden Gleichungen sind danach:

$$AS_{y1} = \beta_{01} (1 + \beta_{11} y)^{P_1} \quad 0 \leq y \leq 0,2 \quad (25.64)$$

$$AD_{y1} = \beta_{01} (1 + \beta_{12} y)^{P_1} \quad 0 \leq y \leq 0,2 \quad (25.65)$$

$$AS_{y2} = \beta_{02} (1-y)^{P_2} + \beta_{13} y^{P_2} \quad 0,2 \leq y \leq 1,0 \quad (25.66)$$

$$AD_{y2} = \beta_{03} (1-y)^{P_3} \quad 0,2 \leq y \leq 1,0 \quad (25.67)$$

2.563 Operationalität der transformierten Schaftkurven

- a) Durchmesser in beliebiger Höhe

$$\text{Da: } AS_y = A_{0,i} + A_{0,j} = \frac{d_{0,i}}{d_{0,1h}} + \frac{d_{0,j}}{d_{0,1h}}$$

$$AD_y = A_{0,i} - A_{0,j} = \frac{d_{0,i}}{d_{0,1h}} - \frac{d_{0,j}}{d_{0,1h}}$$

können die Durchmesser am Baum in beliebiger Höhe durch die Auswertung der Gleichung ermittelt werden. Z.B. für den Durchmesser bei 0,5 h ist:

$$A_{0,i} = \frac{AS_{y1} + AD_{y1}}{2} = \frac{d_{0,i}}{d_{0,1h}}$$

und:

$$d_{0,i} = d_{0,1h} \frac{AS_{y1} + AD_{y1}}{2} \quad 0 \leq y \leq 0,2 \quad (25.68)$$

wobei:

$$d_{0,i} = d_{0,1h} \frac{AS_{y2} + AD_{y2}}{2} \quad 0,2 \leq y \leq 1,0 \quad (25.69)$$

Für die Durchmesser zwischen 0,5 h und h resultiert:

$$d_{o,j} = d_{o,1h} \frac{AS_{y1} - AD_{y1}}{2} \quad 0 \leq y \leq 0,2 \quad (25.70)$$

$$d_{o,j} = d_{o,1h} \frac{AS_{y2} - AD_{y2}}{2} \quad 0,2 \leq y \leq 1,0 \quad (25.71)$$

b) Der mittlere quadratische Durchmesser d_q , Gesamtvolumen und Abschnittsvolumina des Baumes

Um d_q zu erhalten, muß die Integration der Funktionen entlang der Kurvenform zwischen h_o und h erreicht werden, sodaß alle Durchmesser berücksichtigt werden, d.h.:

$$(2 d_q)^2 = \int_0^1 [f(y)]^2 dy = \int_0^1 d_x^2 dy = \int_0^1 (d_{o,i} + d_{o,j})^2 dy \quad (25.72)$$

Unter Berücksichtigung der Gleichungen (25.68, 25.69, 25.70, 25.71 und 25.72) ist:

$$(d_{o,i} + d_{o,j}) = d_{o,1h} \left(\frac{AS_{y1} + AD_{y1}}{2} + \frac{AS_{y2} + AD_{y2}}{2} + \frac{AS_{y1} - AD_{y1}}{2} + \frac{AS_{y2} - AD_{y2}}{2} \right) \quad 0 \leq y \leq 1,0$$

oder dementsprechend:

$$(d_{o,i} + d_{o,j}) = d_{o,1h} (AS_{y1} + AS_{y2}) \quad (25.73)$$

und schließlich:

$$4 d_q^2 = \int_0^{0,2} d_{o,1h}^2 [\beta_{o1} (1 + \beta_{11} y)^{p_1}]^2 dy + \int_0^{1,0} d_{o,1h}^2 [\beta_{o3} (1-y)^{p_2} + \beta_{13} y^{p_2}]^2 dy$$

Das Gesamtvolumen des Schaftes ergibt sich aus der Gleichung (25.50).

Teilmassen können durch Integration von Abschnitten berechnet werden:

$$V_{(y2-y1)} = \frac{\pi}{16} h (y2 - y1) \int_{y_1}^{y_2} [f(y)]^2 dy \quad (25.75)$$

c) Die transformierte Schaftkurve in Funktion vom Brusthöhendurchmesser

Der Brusthöhendurchmesser kann im Bereich der Gleichungen AS_{y1} und AD_{y1} lokalisiert werden, wenn die Höhe des Baumes größer als 13m ist.

Ist h kleiner als 13, dann liegt der Brusthöhendurchmesser im Bereich von AS_{y2} und AD_{y2} .

Unter diesen Umständen befindet sich der Brusthöhendurchmesser $d_{1.3}$ im Punkt:

$$x = \frac{1,3 \text{ m}}{h} \quad \text{oder} \quad y = \frac{2,6 \text{ m}}{h}$$

Ist h grösser als 13 m dann ist:

$$d_{1.3} = d_{o,1h} = \frac{\beta_{o1} \left(1 + \beta_{11} \frac{2,6}{h}\right)^{p_1} + \beta_{o1} \left(1 + \beta_{12} \frac{2,6}{h}\right)^{p_1}}{2}$$

Zur Erleichterung der Anwendung kann $d_{o,1h}$ bei gegebenem $d_{1.3}$ und h durch eine Konstante ersetzt werden.

Folglich:

$$d_{o,1h} = \frac{2 d_{1.3}}{\beta_{o1} \left(1 + \beta_{11} \frac{2,6}{h}\right)^{p_1} + \beta_{o1} \left(1 + \beta_{12} \frac{2,6}{h}\right)^{p_1}} = k_1 \quad (25.76)$$

Ist h kleiner als 13 m und liegt $d_{1.3}$ im Bereich von AS_{y2} und AD_{y2} dann folgt:

$$d_{o,1h} = \frac{2 d_{1.3}}{\beta_{o2} \left(1 - \frac{2,6}{h}\right)^{p_2} + \beta_{13} \left(\frac{2,6}{h}\right)^{p_2} + \beta_{o3} \left(1 - \frac{2,6}{h}\right)^{p_3}} = k_2 \quad (25.77)$$

Werden die Formeln (25.76) und (25.77) in (25.74) eingeführt, so ist, wenn h grösser als 13 m :

$$4 d_q^2 = \int_c^{0,2} k_1^2 [\beta_{o1} (1 + \beta_{11} y)^{p_1}]^2 dy + \int_{0,2}^{1,c} k_1^2 [\beta_{o2} (1 - y)^{p_2} + \beta_{13} y^{p_2}]^2 dy$$

(25.78)

und wenn h kleiner als 13 m:

$$4\alpha_1^2 = \int_0^{0,2} k_2^2 [\beta_{01}(1+\beta_{11}y)^{p_2}]^2 dy + \int_{0,2}^{1,0} k_2^2 [\beta_{02}(1-y)^{p_2} + \beta_{13}y^{p_2}]^2 dy \quad (25.79)$$

2.564 Anwendung der transformierten Schaftkurven

Zur Erläuterung der praktischen Anwendung und Schätzung der Genauigkeit soll eine durchschnittliche Formreihe- aus 2.465 Bäumen für ganz Südbasilien für die Baumart Araucaria angustifolia als Beispiel dienen. Die Originalreihen und die transformierten Reihen werden in der folgenden Tabelle gegeben:

x	Λ_x original	y	AS_y	AD_y
0,0	1,500*	0,0	1,500	1,500
0,1	1,000	0,2	1,413	0,587
0,2	0,942	0,4	1,541	0,343
0,3	0,897	0,6	1,601	0,193
0,4	0,855	0,8	1,619	0,091
0,5	0,812	1,0	1,624	0,000
0,6	0,764			
0,7	0,704			
0,8	0,599			
0,9	0,413			
1,0	0,000			

* geschätzt

Die Gleichungen wurden durch das beschriebene Verfahren mit den gegebenen Koeffizienten berechnet. Es ist zu beachten, daß die Koeffizienten

$$\beta_{01} = 1.500$$

$$\beta_{13} = 1.624$$

für die Araucaria automatisch definiert wurden.

Die anderen Koeffizienten β_{02} , β_{03} , β_{11} und β_{12} sind aus den Werten AS_y und AD_y an den Grenzen ihrer Bereiche leicht zu berechnen.

Die Exponenten p_1 , p_2 und p_3 sind aus sukzessiven Näherungen ermittelt.

Bei der Anpassung der Kurven für die Punkte $y = 0,2$ werden die Werte von AS_y und AD_y in Zwischenpunkten z.B. für

$y = 0,1$ im ersten Bereich

und $y = 0,6$ für den zweiten Bereich berechnet.

Dann kann die Größe der prozentualen Abweichung überprüft und eine Korrektur der Exponenten vorgenommen werden bis die Ergebnisse die kleinste Abweichung in den Zwischenpunkten zeigen. Es wird vorgeschlagen, dieses Verfahren mit folgenden Werten für die Exponenten:

$$p_1 = -0,1 \quad p_2 = 0,9 \quad \text{und} \quad p_3 = 1,4$$

durchzurechnen.

Die sich für die *Araucaria angustifolia* ergebenden Gleichungen sind:

$$AS_{y1} = 1.500 (1 + 4,0878 y)^{-0,1} \quad 0 \leq y \leq 0,2 \quad (25.80)$$

$$AD_{y1} = 1.500 (1 + 59.420,1114 y)^{-0,1} \quad 0 \leq y \leq 0,2 \quad (25.81)$$

$$AS_{y2} = 1,2608 (1-y)^{0,9} + 1,624 y^{0,9} \quad 0,2 \leq y \leq 1,0 \quad (25.82)$$

$$AD_{y2} = 0,8388 (1 - y)^{1,6} \quad 0,2 \leq y \leq 1,0 \quad (25.83)$$

Werden die schrittweise erhaltenen Werte von y in die Ergebnisgleichungen eingesetzt dann können die prozentualen Abweichungen in Beziehung zu der ursprünglichen Reihe ermittelt werden. Die nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse:

x	A_x original	A'_x Gleichungen	$f\%$	y	AS'_y Gleichungen	AD'_y Gleichungen
0,0	1,500	1,500	0,0	0,0	1,500	1,500
0,1	1,000	1,000	0,0	0,2	1,413	0,587
0,2	0,942	0,939	0,3	0,4	1,508	0,370
0,3	0,897	0,886	1,1	0,6	1,578	0,194
0,4	0,855	0,844	1,1	0,8	1,625	0,064
0,5	0,812	0,812	0,0	1,0	1,624	0,000
0,6	0,764	0,781	-1,7			
0,7	0,704	0,692	1,2			
0,8	0,599	0,569	3,0			
0,9	0,413	0,413	0,0			
1,0	0,000	0,000	0,0			

Bei Gleichung (25.79) ist zu beachten, daß die Funktion:

$$\beta_{02} (1 - y)^{p_2} + \beta_{13} y^{p_2}$$

bei Quadrierung mit den gewöhnlichen Integrationsmethoden schwierig zu integrieren ist. Dieses Problem wird aber mit Annäherungsverfahren vom Computer gelöst. Zur Erleichterung der Auswertungen werden einfachere Gleichungen vorgeschlagen. Diese haben aber eine geringere Anpassungsgüte:

$$AS_{y_2} = \beta_{02} (\beta_{13} + \beta_{14} y)^{p_2} \quad (25.84)$$

Im Falle der Araucaria ergibt sich diese Gleichung mit:

$$AS_{y_2} = 1,413 (0,88 + 0,6 \cdot y)^{0,4} \quad (25.85)$$

a) Schätzung der Baummasse

Als Beispiel sei die Masse eines Baumes mit $d = 100$ cm und Höhe = 17 m geschätzt. Dafür wird k_1 für Höhen grösser als 13 m berechnet:

$$k_1 = \frac{2 \cdot (1,00)}{1,500 (1 + 4,0879 \frac{2,6}{17})^{-0,1} + 1,500 (1 + 59420,111 y \frac{2,6}{17})^{-0,1}}$$

$$k_1 = \frac{2}{1,4289 + 0,6029} = 0,9844$$

Unter Anwendung von Gleichung (25.85) und Einführung in (25.74) resultiert:

$$\begin{aligned} 4 d_q^2 &= \int_0^{0,2} 0,9844^2 [1,500 (1 + 4,0878 y)^{-0,1}]^2 + \int_0^{1,0} 0,9844^2 [1,413 (0,88 + 0,6y)^{0,4}]^2 dy \\ 4 d_q^2 &= 0,9690 \left\{ 2,25 [0,3058 (1 + 4,0878 y)^{0,8}]_0^{0,2} + 1,997 [0,9259 (0,88 + 0,6y)^{1,8}]_0^{1,0} \right\} \\ 4 d_q^2 &= 0,9690 \left\{ 2,25 [0,3059 (1,6128 - 1)] + 1,997 [0,9259 (2,0252 - 1)] \right\} \\ 4 d_q^2 &= 0,9690 (0,4216 + 1,8952) \\ 4 d_q^2 &= 2,2450 \\ d_q^2 &= 0,5612 \quad d_q = 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

Das Volumen dieses Baumes ist durch die Gleichung (25.50) bestimmt:

$$V = 0,7854 \cdot 0,5612 \cdot 17 = 7,49 \text{ m}^3$$

Die wirklichen Daten des Baumes sind:

$$\lambda_{0,9} = 0,58 \quad d_g = 0,75 \quad V = 0,7854 \cdot 1^2 \cdot 17 \cdot 0,58$$

$$V = 7,74 \text{ m}^3$$

Der Fehler beträgt 3,2 %

In Kapitel 5 werden die natürlichen (echten) Formzahlen - nach Regionen getrennt zusammengestellt. Dadurch werden die relativen Reihen verbessert und der Schätzfehler wird kleiner.

Das Verfahren zur Ermittlung von Teilvolumina der Abschnitte für bestimmte industrielle Zwecke und zur Konstruktion von entsprechenden Tabellen kann sinngemäß in derselben Form angewendet werden.

In dieser Dissertation sollen keine solchen Tabellen vorgestellt werden, weil keine Durchmessermessungen am Stock gemacht wurden. Nachträgliche Erhebung dieser Variablen wird erlauben, endgültige Tabellen für die *Araucaria angustifolia* aufzustellen. Einige spezielle Ergebnisse von dieser Baumart sollen in Kapitel 5 noch besprochen werden.

2.57 Dendrometrische Beziehungen in natürlichen Wäldern

Die Behandlung aller dendrometrischen Aspekte, wie z.B. das Grundinstrumentarium für die Durchführung von Inventuren in natürlichen Wäldern usw. würde den Rahmen dieser Dissertation sprengen. Einige wichtige Probleme werden in Kap. 2.6

besprochen. Dendrometrische Daten wie die Durchmesserverteilung

die Beziehung $h=f(d)$

und $v=f(g)$ usw.

liefern die Grundlagen zur Kenntnis der Struktur der natürlichen Wälder, insbesondere für die Forsteinrichtung.

In Brasilien ist die Forsteinrichtung wegen fehlender Inventuren der natürlichen Wälder kaum fortgeschritten oder überhaupt noch nicht praktiziert.

Dies ist auch dadurch bedingt, daß die natürlichen Wälder bis jetzt nicht als ständige Quelle der Forstproduktion betrachtet wurden.

Da nur wenige natürliche Wälder in Staatsbesitz sind, wurde eine effektive Programmierung periodischer Inventuren und die Errichtung von Forsteinrichtungsplänen nach dem Nachhaltigkeitsprinzip bis jetzt nicht erreicht.

Dementsprechend sind die Informationen über den Zuwachs, die Qualitätsschätzung, die Schätzung der Produktion und anderer biologischen Variablen bis zum Beispiel der räumlichen Verteilung der Baumarten in den natürlichen Wäldern in Brasilien wenig bekannt.

Die fundamentale Bedeutung dieser Studien ist aber jetzt erkannt und ihr Einfluß wird in Kap.5 zusammen mit einer Skizze zur Durchführung künftiger Arbeiten zur Struktur Erfassung der natürlichen tropischen Wälder dargestellt.

Ein großer Teil dieser Konzeption wurde von verschiedenen Autoren wie z.B. PRODAN 1944 und 1965 , LOETSCH, ZÜHRER, HALLER 1973, ASSMANN 1961 und -nicht zuletzt- GIURGIU 1969 behandelt.

2.6 Das mathematisch-Statistische Konzept für die Forstinventuren der Naturwälder.

Die Durchführung der Forstinventuren in den Naturwäldern Brasiliens ist ein neues Instrumentarium zur Erlangung der Kenntnis des forstlichen Potentials.

Die mathematisch-statistischen Konzepte der Stichprobentheorie sind gut bekannt. Sie wurden in großem Umfang bereits bei den Forstinventuren verschiedener Gebiete Brasiliens angewandt. Durch die Anpassung an die aufzunehmende Population liefert die Stichprobenmethode die Möglichkeit der Erfassung der Gesamtheit und gleichzeitig die Grundlage zur Planung der richtigen Bewirtschaftung.

In der Mehrzahl der Fälle stehen bei den Naturwäldern 3 Alternativen zur Wahl:

- a) die stratifizierte Stichprobe
- b) die Gruppenstichprobe
- c) die systematische Stichprobe.

2.61 Die stratifizierte Stichprobe

Die stratifizierte Stichprobe wurde in großem Umfang in den Cerrado-(Savannen-)gebieten, den tropischen und den subtropischen Wäldern und in den Araucariawäldern im Süden Brasiliens angewandt.

Unter den gegebenen ökologischen Bedingungen war eine Stratifizierung unumgänglich, um die intensive Einflußnahme des Menschen durch die ständige Exploitation berücksichtigen zu können. Dadurch konnten verschiedene volumetrische Strata gebildet werden. Diese waren notwendig durch das Vorkommen von Sekundärwäldern, die sich zwischen die - sich im ursprünglichen Zustand befindenden - Naturwälder geschoben haben. Außerdem können dadurch in den Südregionen die Araucariawälder von den tropischen und subtropischen Wäldern unterschieden werden.

Mit Hilfe der Luftbilder - hauptsächlich aus Infrarotfilmen - ist eine vollkommene Abgrenzung der verschiedenen Straten sowohl vom ökologischen als auch vom ökonomischen Standpunkt aus möglich.

Die stratifizierte Stichprobe hat sich wirksam gezeigt bei den schon genutzten Naturwäldern sowie - unter den gegebenen Bedingungen - in Cerrado-(Savannen-)wäldern und in den extensiven Wäldern aus Caatinga, also in den Steppenwäldern.

Die natürliche volumetrische Varianz korreliert weitgehend mit der natürlichen typologischen Abgrenzung.

Die Erfahrungen aus den bisherigen Inventuren erlauben die Schlußfolgerung, daß die stratifizierte Stichprobe auf der Basis einer Vorstratifizierung - im Vergleich zur uneingeschränkten Zufallsstichprobe oder zur systematischen Stichprobe - zu einer signifikanten Kostenreduzierung führt. Bei der uneingeschränkten Zufallsstichprobe ergeben sich bei den ungeheuer grossen Flächen - bei vorher festgelegter GenauigkeitsgröÙe Schwierigkeiten oder sogar die Unmöglichkeit, die Stichprobenpunkte zuverlässig auf der Fläche zu verteilen, unzulässige Kosten.

Über die Anwendung der systematischen Stichprobenahme mit nachträglicher Stratifizierung gibt es in Brasilien keine Erfahrung. Der Hauptgrund dafür ist, daß es nicht möglich ist, bei gleicher oder höherer Aufnahmeintensität die Stratenflächen - und damit auch die Gesamtmasse des ganzen Areals - zu schätzen. Eine Vorstratifizierung erlaubt aber schon einige wichtige Schlußfolgerungen zur besseren Kenntnis dieses Stichprobenverfahrens in ausgedehnten, schon genutzten oder halbgenutzten Naturwaldflächen. Dies soll später noch ausführlich besprochen und mit den Ergebnissen der-in den Regionen CENTRUM und SÜD Brasiliens durchgeführten - Inventuren belegt werden.

2.61 Die allgemeine Kartendarstellung als Grundlage für die Herstellung von Forstkarten.

Eine der grundlegenden Voraussetzungen für die Durchführung von Forstinventuren ist das Vorhandensein von Grundkarten. Sie ermöglichen erst die Photointerpretation der identifizierten Straten auf der Arbeitsfläche. Der Stand der Kartendarstellung des brasilianischen Territoriums ist immer noch prekär oder unbefriedigend und in vielen Fällen verlangt die Durchführung der Inventuren die neue Herstellung von Karten als Voraussetzung für die Planung. Solche ungenügenden Verhältnisse wurden auch bei der Realisierung der ersten Araucaria-Inventur im Staate PARANA angetroffen, weshalb die Abteilung für Waldinventur der Forstlichen Fakultät sehr grosse Schwierigkeiten hatte. (DILLEWIJN 1966)

Es wurden Photographien mit einem Maßstab von ungefähr 1 : 70.000-gewonnen mit einer Bildkamera RC 9 - benutzt. Für eine Bedeckung von 7 Millionen ha wurden 1.763 Bilder verwendet (Abb.261). Für die Kartenherstellung wurde dann die Radialtriangulation nach der Methode "SLOTTED TEMPLET" , die auch eine mathematische Auswertung ermöglichte, gewählt. Es wurde das UTM-Projektionssystem mit dem Nullmeridian 51° West verwendet. Hier sollen keine weiteren Einzelheiten besprochen werden. Es interessierten nur einige - bereits erwähnte - Aspekte, die in der einen oder anderen Form für die Ergebnisse der Inventur von Bedeutung waren.

Als identifizierte Einschränkungen sind zu erwähnen:

- a) Die geringe Anzahl astronomisch bestimmter Punkte und dadurch die Unmöglichkeit der-mit dieser Methode normalerweise möglichen - Erreichung der Genauigkeit. Im vorliegenden Fall wurden die -schon existierenden - astronomischen Punkte benutzt und mit den zur Verfügung stehenden Mitteln kaum zusätzliche Punkte bestimmt.
- b) Auch bei der Annahme genügender Genauigkeit der kartographischen Grundlagen, mußten die Karten durch Zusammenkleben der Bilder hergestellt werden, weshalb die sogenannten halbkontrollierten Mosaiken - insbesondere an den Grenzen der Bilder- merkliche Verzerrungen zeigten.
- c) Eine nachträgliche Übertragung der forstlichen Photointerpretation wurde auch unter denselben Bedingungen gemacht, ohne Korrektur der Verzerrungen. Daraus resultiert die Hauptfehlerquelle zum Erhalt einer zuverlässigen Gesamtfläche oder Teilflächen der Strata , die durch die Photointerpretation begrenzt wurden. In den nachfolgenden Inventuren wurde diese Methode verlassen. Die notwendigen Karten wurden von Privatfirmen hergestellt. Diese haben - wie z.B. PLANIMAT u.a.- genügende photogrammetrische Ausrüstung zweiten oder sogar ersten Grades, die kartographische Grundlagen mit höherer Genauigkeit liefern. Bei der Übertragung der Photointerpretationen auf die Karten wurde in den nachfolgenden Arbeiten durch den Ankauf von AERO-SKETCHMASTER eine Verbesserung erreicht. Diese Einrichtung wurde für die Herstellung der forstlichen Karte des Federaldistriktes BRASILIA mit einer Fläche von 574.314 ha verwendet. Die Grundkarte für diese Arbeit wurde hergestellt vom brasilian-

nischen Institut für Geographie und Statistik (IBGE) im Maßstab von 1 : 100.000 (s. Abb. 262).

Später ermöglichte der Erwerb eines Doppelprojektors durch die Forstliche Fakultät, die Übertragungstechnik der Photointerpretation auf die Karten zu verbessern und so die Fehlerquellen in der Begrenzung der Strata zu verringern.

Betont werden muß, daß die Weiterentwicklung der photogrammetrischen Ausrüstung - trotz großer Genauigkeit - die Frage der Übertragung der Photointerpretation keineswegs löst. Dieses Problem kann nur von Forstingenieuren mit relativ einfachen Instrumenten, die jedem zugänglich sind, gelöst werden. Dies ist bedeutungsvoll, da die Ausstattung der Forstinstitutionen begrenzt ist durch die Kostenfrage und auch durch die Unmöglichkeit, immer noch kompliziertere Methoden anzuwenden.

Eine hier noch zu behandelnde Frage ist die Fehlergröße der verschiedenen Übertragungsmöglichkeiten der Photointerpretation. Dies soll hier noch analytisch behandelt werden.

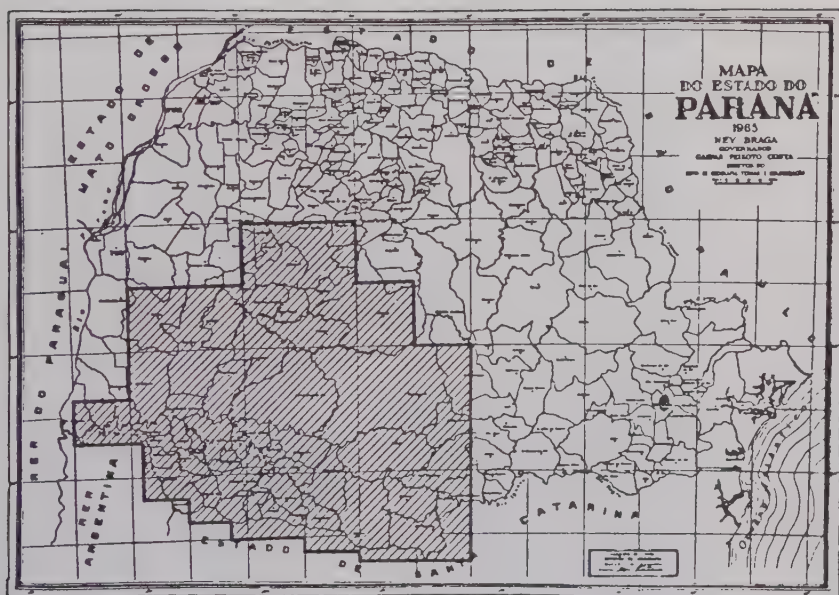
2.612 Die forstliche Photointerpretation als Methode für eine Vorstratifikation.

Die Anwendung der Photointerpretation in den natürlichen Wäldern als Ziel der Vorstratifizierung wurde in Brasilien bei der Araucaria-Inventur des Staates PARANA eingeführt (DILLEWIJN 1966). Ihre Durchführung hat ermöglicht, 3 unterschiedliche Straten zu erkennen:

- a) Araucarienwälder im reinen -noch nicht genutzten- Zustand T.I.
- b) Natürliche Araucarienwälder halb oder schon ganz genutzt T.II.
- c) Tropische und subtropische Wälder T.III.

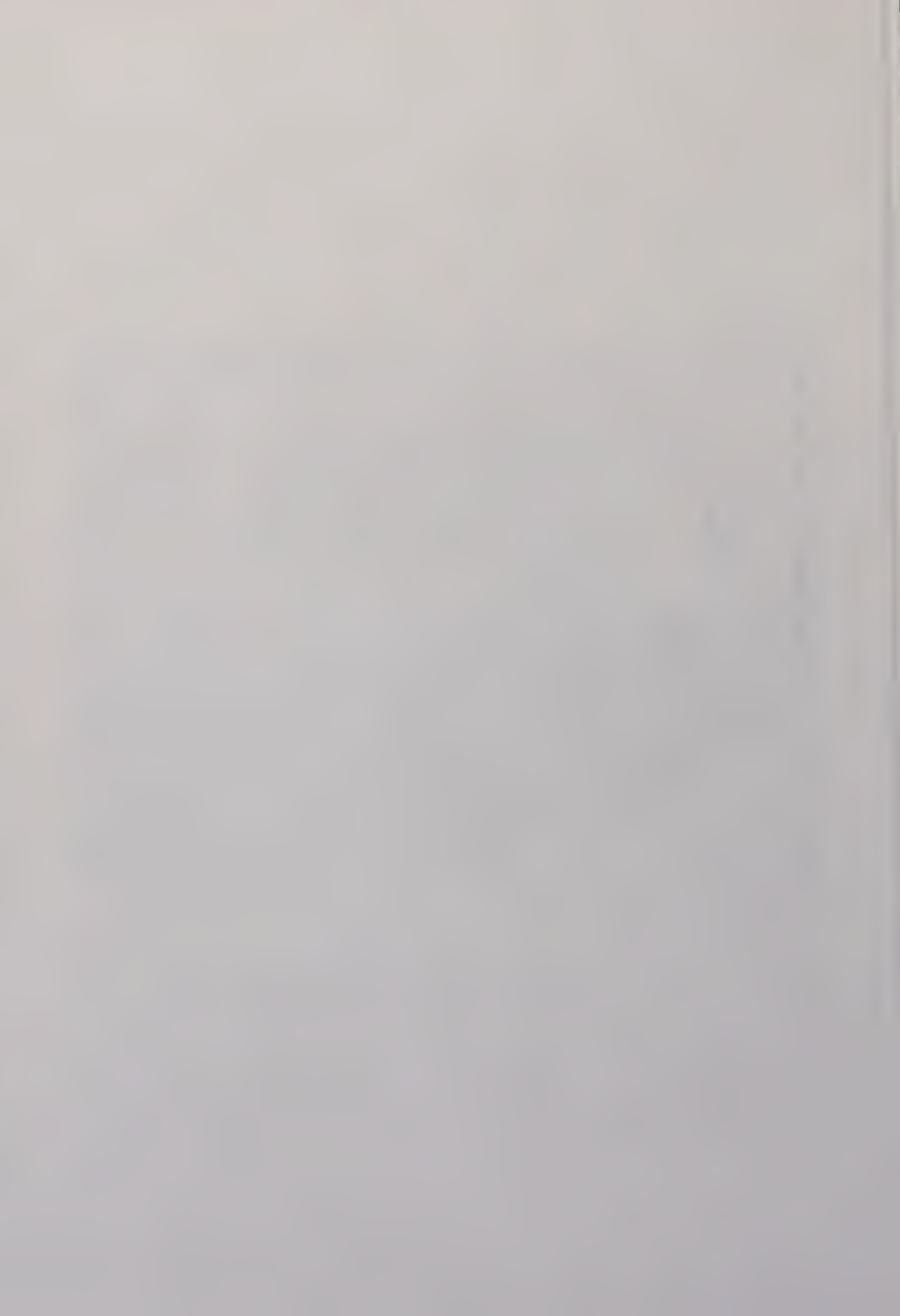
Diese Stratifizierung war nur sehr allgemein gehalten, sodaß es nicht möglich war für das Stratum T.II bzw. T.III ausführliche Einzelheiten auszuarbeiten. Dies ist auf den Maßstab 1 : 70.000 zurückzuführen.

Außerdem war das Ziel nur die augenblickliche Feststellung der verbleibenden Reserven von Araucaria (Abb. 263). Einzelheiten der Photointerpretation sind in Verbindung mit den Zielen der Prästratifizierung der Forstinventur zu sehen. Bei intensiveren Forstinventuren, deren Ziele hauptsächlich die Forsteinrichtung oder die Exploitation der Waldreserven einer Fläche darstellen, muß die Stratifizierung ausführlicher sein mit Bildern im Maßstab 1 : 5.000 oder bis 1 : 25.000.



Inventarizada Fleche

Abb.26.1 Inventur der *Araucaria angustifolia* in PARAN 1966



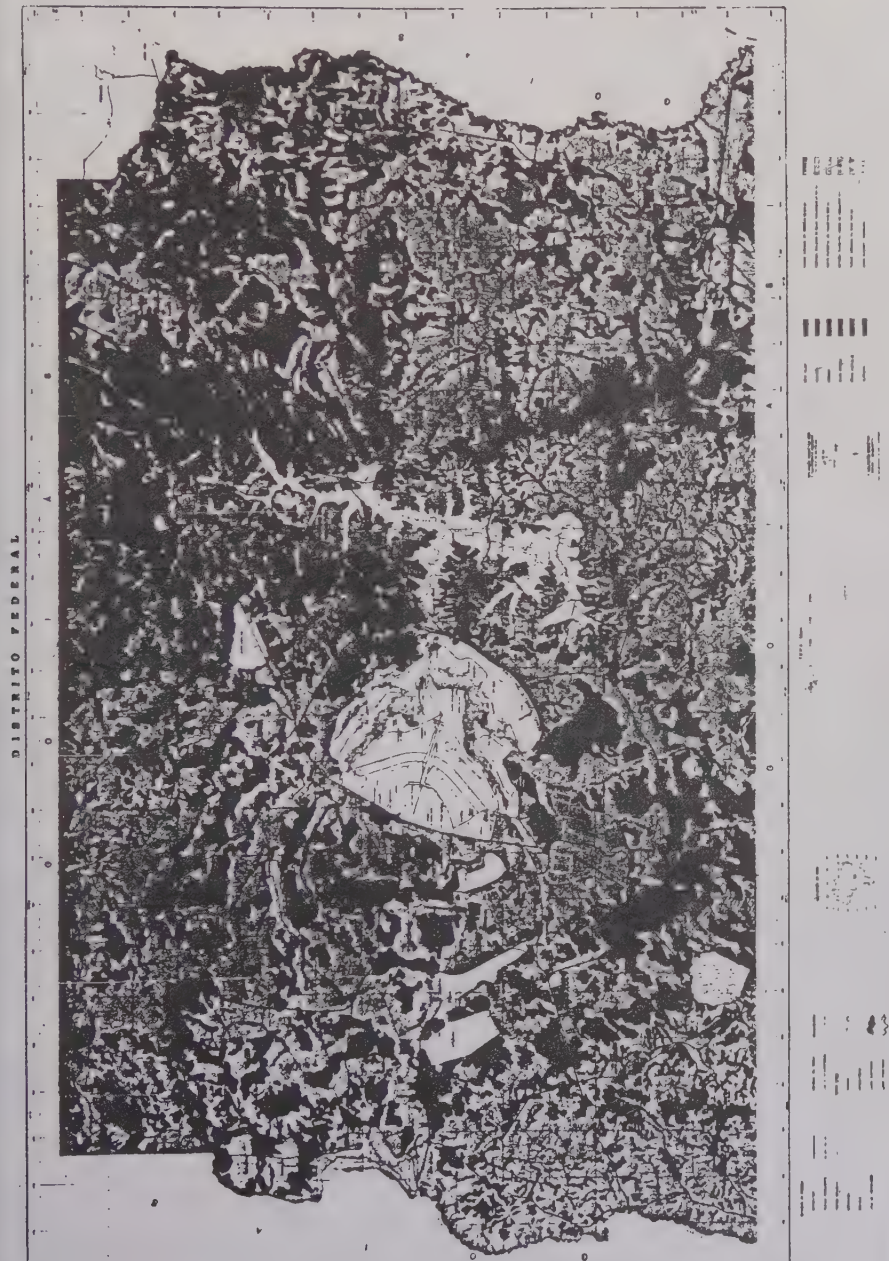


CARTA FLORESTAL

DC

DIST. FLORESTAL
FEDERAL

1:250,000

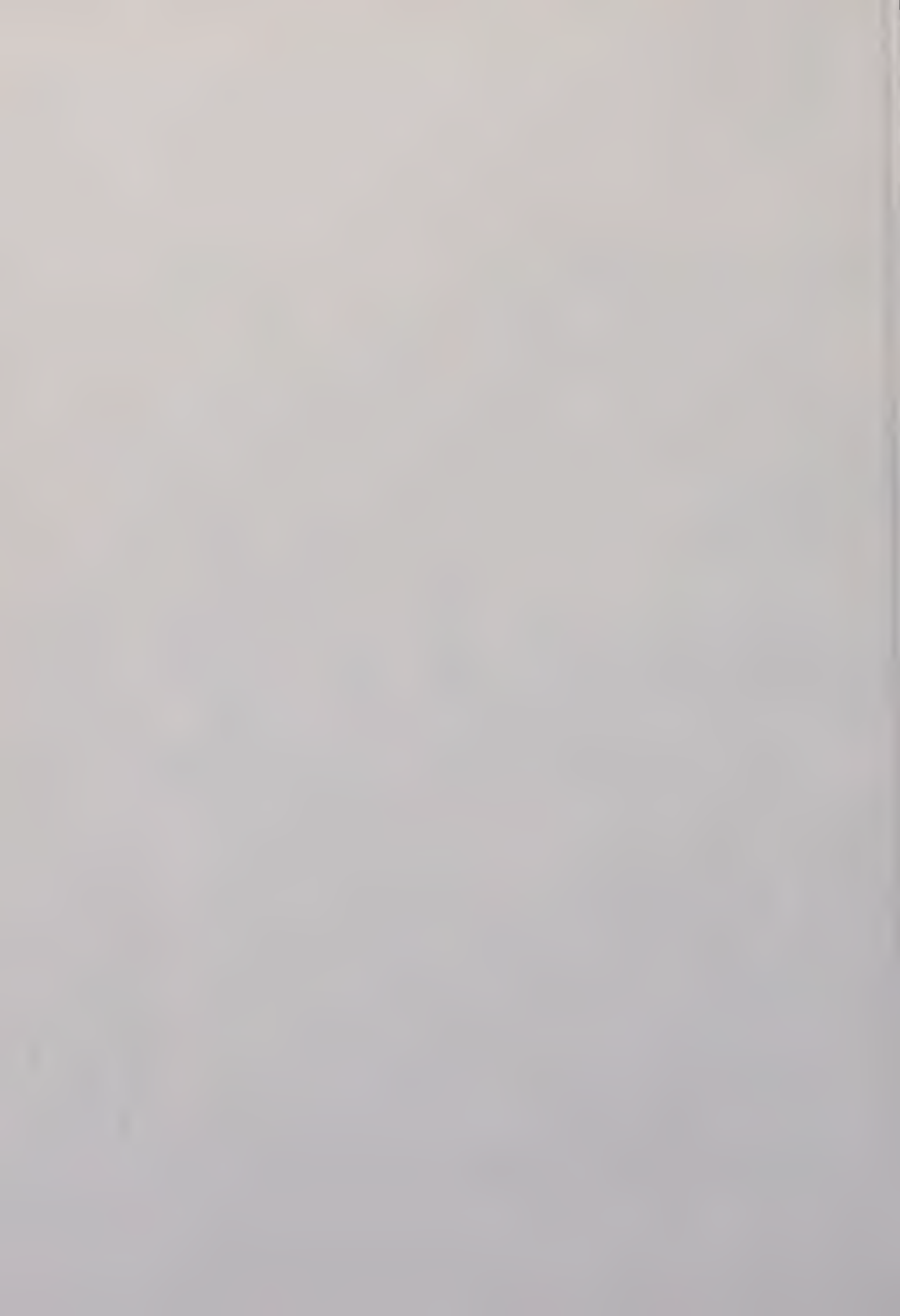


LEGENDA

1	Área de Proteção Ambiental
2	Área de Preservação Ambiental
3	Área de Recreação Ambiental
4	Área de Uso Múltiplo
5	Área de Proteção Especial
6	Área de Proteção Integral
7	Área de Proteção Parcial
8	Área de Proteção Temporária
9	Área de Proteção Permanente
10	Área de Proteção Especial
11	Área de Proteção Integral
12	Área de Proteção Parcial
13	Área de Proteção Temporária
14	Área de Proteção Permanente

Abb. 26.2 Forstkarte des Federaldistriktes BRASILIA (1972)





Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, daß der Maßstab 1 : 10.000 die günstigste Kompromißlösung zwischen ausreichendem Inhalt der Photointerpretation und den Durchführungskosten darstellt. Diese Erfahrung wurde 1973 bei der Inventur in den Eingeborenenreservaten im Süden Brasiliens gewonnen. Dabei erfolgte die Abgrenzung der Strata mit durchaus befriedigender Klarheit. Folgende Strata konnten abgegrenzt werden:

- a) Noch nicht genutzte natürliche Araucarienswälder (P 1)
- b) halbgenutzte Naturwälder von Araucaria (P2)
- c) genutzte Araucarienwälder (P3)
- d) Mischwälder von Araucaria (MP 3)
- e) subtropische, feuchte und dichte Laubwälder (M 1)
- f) subtropische, feuchte Laubwälder, halbexploitiert (M 2)
- g) Capoeira, dicht (C 1)
- h) Capoeira, licht (C 2)

außerdem wurden die offenen Flächen für Vieh- und Landwirtschaft wie folgt differenziert:

- i) Landwirtschaft (A)
- j) Weidflächen, verlassene offene Flächen, sich in Ruhe befindende Flächen (R)

Die Stratifizierung unter diesen Bedingungen lieferte außerordentlich wertvolle Erkenntnisse für die Forstinventur.

Ähnliche Erfahrungen wurden auch bei den Forstinventuren auf der - unter Wasser stehenden - Fläche von ITAIPU und bei den Privatforstbetrieben im Süden Brasiliens gewonnen.

Bei regionalen oder nationalen Forstinventuren kann die Stratifizierung allgemeiner sein. Sie kann anhand von Photos im Maßstab 1 : 25.00 bis 1 : 70.000 gemacht werden.

Die Anwendung der Fernerkundungstechnik bringt hier große Vorteile. Sie wurde als experimentelle Methode bei den neuesten Forstinventuren der Arbeitsgruppe der Forstlichen Fakultät eingeführt. Diese Regionalinventur wurde realisiert auf dem ganzen - 16 Millionen ha großen - Areal des natürlichen Verbreitungsgebietes der Araucaria (Abb. 264).

Die Kartierung und die forstliche Photointerpretation dieses Areals mit Bildern im Maßstab 1 : 50.000 wurden 1974 von einem Privatbetrieb durchgeführt.

Nachdem die Forstinventur Anfang 1977 vom IBDF autorisiert wurde, war die Photointerpretation - in Anbetracht der inzwischen veränderten Waldflächen, wie sie in Abschn. 2 dargestellt sind, schon nicht mehr aktuell.

Ihre Erneuerung anhand von Bildern im gleichen Maßstab war aber sehr teuer. Deshalb wurde die neue Methode der Fernerkundung mit Bildern von LANDSAT 2 angewandt.

Die neuen Strategiegrenzen wurden von den Professoren Maurice KEECH und Attilio DISPERATTI aufgestellt. Die benutzten Bilder wurden mit den Projektionssphären Punkt 178/32 , 192/29, 192/30, 192/31, 192/32, 206/29, 206/30, 206/31, 206/32, 220/29, 220/30, 220/31, und 234/29 in den Kanälen 4, 5, 6 und 7 des Multispektralbildnehmers in schwarzweiß im Maßstab 1 : 1.000.000 und 1 : 250.000 gewonnen und auf die transparenten Positivbilder im Maßstab 1 : 3.704.000 übertragen.

Das ganze Material wurde von der Datenbank des Raumforschungsinstitutes von Brasilien (INPE) zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden magnetische Bänder benutzt, die durch die Multispektralanalyse GE-IMAGE-100 (FUPEF 1978) computerisiert wurden.

Die Flächenbedeckung dieses Materials ist aus Abb.265 zu ersehen.

Die Methode der Stratifizierung besteht in der visuellen Betrachtung der Bilder im Maßstab 1 : 100.000 und 1 : 250.000 unter Ausnützung der deutlichen Abgrenzung der bewaldeten Flächen auf Band 5 .

Die Araucaria mit ihrer niedrigen Reflexion erscheint in grauer Tönung auf den Bändern 5 und 7.

Durch diese Charakteristiken wurden Testflächen ausgewählt und sowohl auf konventionellen Bildern im Maßstab 1: 50.000 als auch durch Überprüfung im Gelände konnten richtige Beziehungspunkte auf den Bändern gewonnen werden, die nachträglich von der Multispektralanalyse I^o-100 ausgewertet werden. Die Ergebnisse werden dann durch Abgrenzung der Spektralbänder, mit derselben elektromagnetischen Energieintensität, ermöglicht. Dabei ergibt sich die gleiche Farbtönung für die Waldflächen wie auf den Bildern.

Durch die Einteilung der Areale in Bilder mit einem Modul von je 1072 x 780 Pixels wurden dann nachträglich die Daten in Rechenanlagen für die Auswertung mit dem INPERT-Programm gespeichert. Durch die Anwendung des Programms von CONTRAST STRETCH konnte eine bessere Hervorhebung der Bilder erreicht werden. Davon ausgehend wird es möglich sein, eine



Abb. 26.4 Inventarisierte *Araucaria angustifolia* -Fläche im Süden Brasiliens (1978).

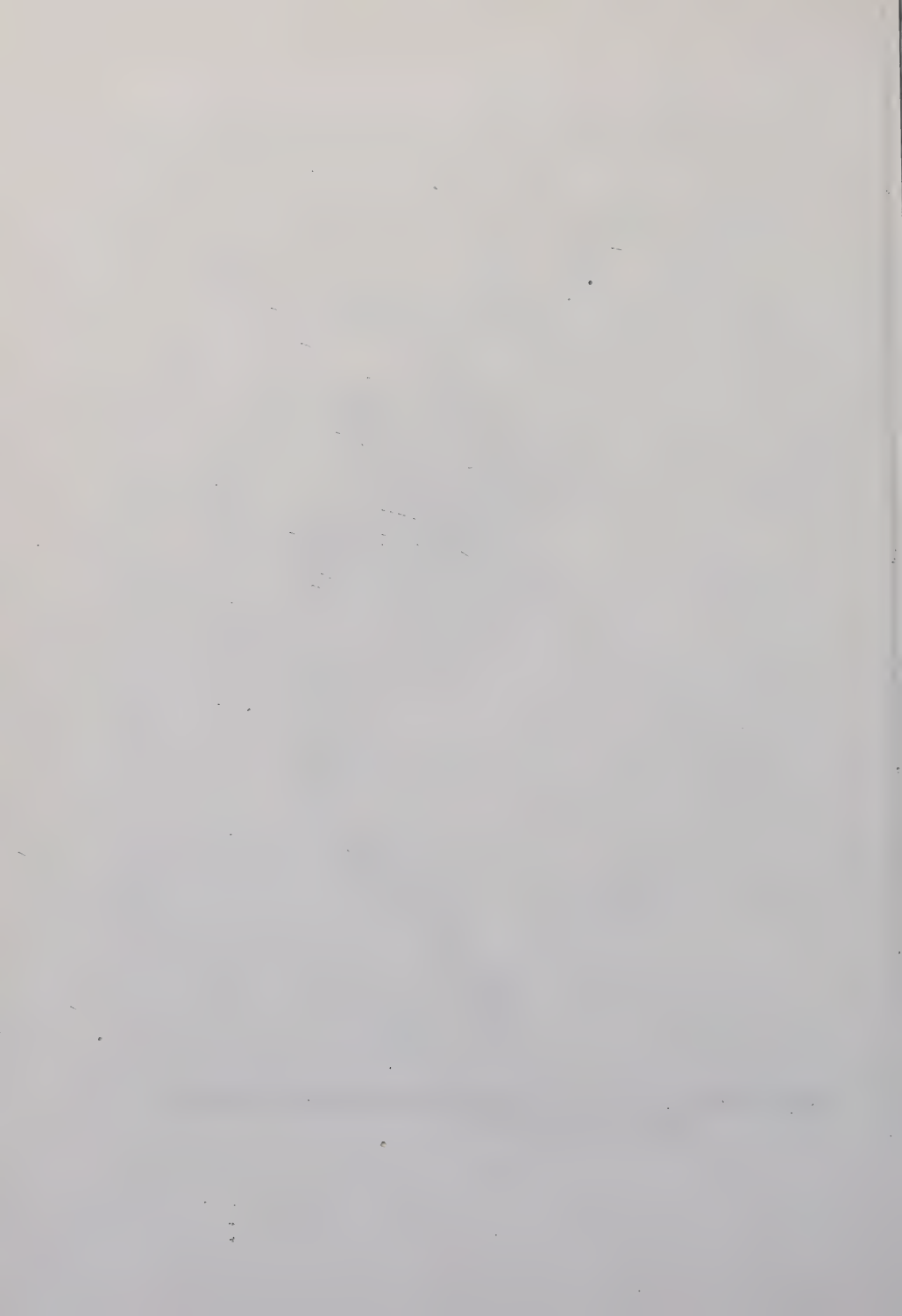
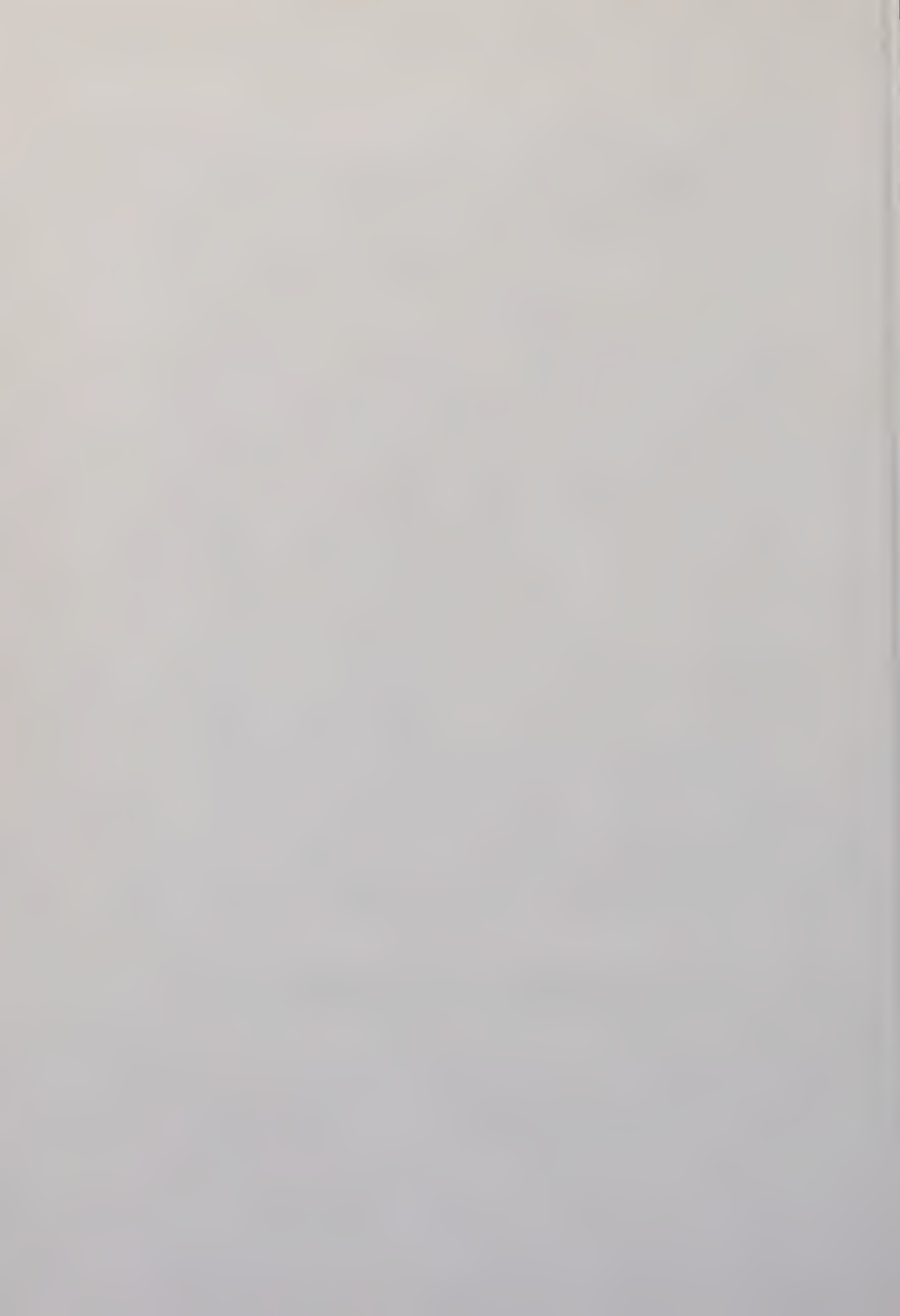




Abb.26.5 Bedeckung der inventarisierten Fläche im Süden Brasiliens mit LANSAT 2 - Bildern . *Araucaria angustifolia* 1978



ÖKOLOGISCHE Abgrenzung der Araucarienwälder zu erreichen, die mit der volumetrischen Stratifizierung der kartierten Flächen wie folgt zusammenfallen:

- a) Natürliche Araucarienwälder , ungenutzt mit einer Dichte von 80-100% (T I)
- b) natürliche Araucarienwälder , halbgenutzt mit einer Dichte von 50-80% (TII)
- c) Laubwälder mit wenig Vorkommen von Araucaria (T III).

Das Stratum T I wird durch eine graue Tönung, Stratum T II durch eine grüundunkle Tönung, Stratum T III durch eine hellgrüne Tönung charakterisiert. Diese Methode bringt jedoch einige Einschränkungen:

- a) Bei Bedeckung eines Teiles der Bilder durch Wolken und Nebel, insbesondere an Flußufern. Die durchschnittliche Bedeckung in diesem Projekt betrug 0,8% der Gesamtfläche.
- b) Der Einfluß der Bodenneigung und die damit verbundene Widerspiegelung verursachen bei der Photointerpretation subjektive Fehler.
- c) Ungeachtet des Fortschrittes der Technik bei der Bildgewinnung von LANDSAT 2 erschweren immer noch Bilder schlechterer Qualität die Interpretation.

Die Effektivität dieser Methode ist teilweise deshalb problematisch, weil die Durchführung der großräumigen Inventuren keine große Genauigkeit sondern nur einen Gesamtüberblick und die Feststellung merklicher Änderungen der Waldbestockung in einem bestimmten Zeitintervall für die Zwecke der Regionalplanung und der Forstpolitik anstrebt.

Dieser Methode dürfte aber für die Zukunft dennoch große Bedeutung zukommen.

Ein großer Vorteil ihrer Anwendung ist die Kontinuierlichkeit des Programms LANDSAT 2 mit der Aussicht, künftig bessere Ergebnisse zu erhalten. Der Hauptvorteil der Methode besteht in der ständigen Aktualität des Bildmaterials für die Zwecke der Luftbildinterpretation.

2.613 Die Flächenschätzung.

Die Flächenschätzung der Strata ist oft sehr schwierig, besonders wenn die Grenzen sehr stark unterteilt sind oder durch unregelmäßige Formen und kurvenreiche Linien dargestellt werden.

Zur Arealbestimmung wurden folgende Methoden angewandt:

- a) Die erste in Brasilien bekannte Methode - vorgeschlagen von DILLEWIJN 1966- wurde verwendet zur Schätzung der Stratenareale bei der Inventur der Araucaria in PARANA unter der Bezeichnung "Punktzählung".

Diese Methode besteht in der Zählung der Punkte eines systematischen - auf die Strata gelegten - Gitters. Immer 4 Punkte zusammen stellen eine Fläche von 1 cm^2 = bei der Photointerpretation 49 ha im Gelände dar. Diese Fläche wurde nachträglich mit dem Eichungsfaktor $f = 0,98899$ korrigiert, der durch Berichtigung bei der Kartenherstellung gewonnen wurde.

Dieses Verfahren kann rasch angewendet werden, hat praktische Bedeutung und erlaubt - wenigstens annähernd - die Schätzung der wirklichen Fläche, die als Strata interpretiert wurde. Sie enthält aber auch eine Fehlerquelle für die Schätzung:

- b) Die zweite Flächenschätzmethode beruht auf der Anwendung des Planimeters bei der Forstinventur des Federaldistriktes BRASILIA (ANDRADE und DOUBEK 1969).

Diese Methode liefert Durchschnittswerte für jede einzelne Fläche. Die Flächenschätzung erfolgt durch die Durchschnittsbildung der einzelnen Messungen. Diese Methode erlaubt die Identifizierung von Fehlern und infolgedessen die Überprüfung und Erreichung einer großen Genauigkeit. Sie verlangt 6 Ablesungen für jede Fläche und wird berechnet mit der Formel:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum P_i}$$

wobei:

A = Stratumfläche

P = Maßstabszahl

Es resultieren durchaus befriedigende Ergebnisse für die Endfläche jedes Stratums. Das Verfahren verlangt aber viel Zeit und aufmerksames, geduldiges Personal.

- c) Die - in letzter Zeit benutzte - dritte Methode ermöglicht eine Schätzung aller stratifizierten Flächen auf der Karte mit großer Genauigkeit und ihre Durchschnittsbildung durch das photoelektrische Prinzip des Instrumentes "AUTOMATIK Area meter -AAM-400". Diese Anlage hat eine höhere Genauigkeit als das Planimeter und kann hundertmal mehr als dieses leisten. Auch die Kosten sind niedriger als mit dem Planimeter, weil viel weniger Zeit gebraucht wird. Die Ablesungen mit diesem Instrument können geeicht werden durch eine quadratische Fläche, deren Dimensionen genau berechnet sind. Eine systematische Korrektur der Flächen nach dieser Methode hat für

die Inventur in ITAIPU einen Fehler von 0,035 oder 3,5% gezeitigt.

2.614 Analytischer Effekt der Fehler bei der Flächenschätzung der Strata.

Aus den vorherigen Ausführungen ergeben sich als Fehlerquellen bei der endgültigen Schätzung der Stratenflächen:

a) Fehler infolge der Kartendarstellung.

Hier konnte kaum auf die von der Forstlichen Fakultät bei der Inventur der Araucaria in PARANA gemachten Erfahrungen eingegangen werden. Natürlich gibt es auf dem Gebiet der Photogrammetrie für die Kartierung auch anspruchsvollere Methoden und zwar mit zunehmender Genauigkeitsforderung (Kartierung 3., 2. und 1.Ordnung). Das Ergebnis der Kartierung 1.Ordnung ist ein vollkommener Basismaßstab für die Karten und alle Einzelheiten -transformiert in eine Orthogonalprojektion. Diese Orthophotokarten sind außerordentlich genau, aber die Kosten sind zu hoch. Zwischen diesen Extremen ist eine große Variation bezüglich Genauigkeit und Kosten der verschiedenen Kartierungsmethoden festzustellen.

b) Die 2. Fehlerquelle entsteht bei der Durchführung und Übertragung der Photointerpretation der Strata auf die Karten. Dieser Fehler kann unterteilt werden in:

- 1.) Die - ausschließlich von der Ausbildung und der Fähigkeit des Photointerpreten abhängige- Photointerpretation kann hervorragend sein, die Abgrenzung der Straten kann aber trotzdem subjektiven Interpretationen unterliegen. Die Technik der nachträglichen Überprüfung der Stratifizierung im Gelände ist für die Korrektur von subjektiven Abgrenzungen unentbehrlich.
- 2.) Die Übertragung der Photointerpretation auf die Karte hängt von der Fähigkeit und Geschicklichkeit des Operateurs ab, die Genauigkeitschwelle der Ausrüstung ist jedoch maßgebend für die Fehlergröße. Die Verwendung eines Doppelprojektors für forstliche Arbeiten scheint effektiv eine befriedigende Kompromißlösung darzustellen.
- c) Die 3.Fehlerquelle ist - wie bereits dargestellt- abhängig von der Schätzung der Flächen und der Genauigkeit der verfügbaren Apparatur.

Aus den bisherigen Ausführungen erhellt, daß die Unterteilung der Gesamtpopulation in Strata in Wirklichkeit sich - bei Außerachtlassung der Fehler - der relative Anteil nach den folgenden Formeln berechnet:

$$w_h = \frac{A_h}{A} = \frac{N_h}{N} \quad (26.1)$$

wobei:

A_h = Fläche jedes Stratum

A = Gesamtfläche der Population

und:

N_h = Gesamtumfang der Stichproben innerhalb jedes Stratum

N = Gesamtumfang der Stichproben der Gesamtpopulation

h = Ordnungszahl des Stratum

Da A_h mit den erwähnten Fehlern behaftet ist, ist:

$$w_h = \frac{A'_h}{A}$$

wobei: A'_h = die fehlerhafte Fläche jedes Stratum

Analytisch betrachtet ergibt sich infolge der auftretenden Fehler eine Differenz:

$$D_h = w_h - w'_h$$

die umso größer wird, je größer die fehlerhafte Schätzung von A'_h sein wird. Die Gesamtheit dieser Fehler in den L Strata der Gesamtpopulation ist:

$$\sum_{h=1}^L D_h = \sum_{h=1}^L (w_h - w'_h)$$

Dieser Fehler beeinflusst die Schätzung des volumetrischen Mittels jedes Stratum.

Ein mathematischer Ausdruck für die Schätzung und den entsprechenden Standardfehler wurde 1941 von STEPHAN abgeleitet:

$$\sum_{h=1}^L D_h \bar{x}_h = \sum_{h=1}^L (w_h - w'_h) \bar{x}_h$$

und:

$$s_{\bar{x}_e}^{2'} = \frac{\sum_{h=1}^L w_h s_h^2}{n_h} (1-f_h) + \left[\sum_{h=1}^L (w_h - \bar{w}_h) \bar{x}_h \right]^2 \quad (26.2)$$

oder:

$$s_{\bar{x}_e}^{2'} = s_{\bar{x}_e}^2 + \left[\sum_{h=1}^L (w_h - \bar{w}_h) \bar{x}_h \right]^2$$

wobei:

- $\bar{x}_h$ = Schätzwert der Durchschnitte der Straten $\bar{x}_h$
- $s_{\bar{x}_e}^{2'}$ = die vergrößerte Varianz der Durchschnittswerte
infolge der Schätzfehler der Stratengrößen
- $s_{\bar{x}_e}^2$ = Varianz der Durchschnittswerte ohne Fehler

Diese Schätzung ist wichtig für die praktische Arbeit des Forstmannes. Die Frage dabei ist die Abwägung zwischen der Fehlergröße und den Kosten verschiedener Durchführungsalternativen.

Diese Problemstellung ist Gegenstand einer Magisterthesis, die in Curitiba von Forsting. Jose E. COLLARES- unter Leitung des Verfassers- abgeschlossen wurde. In der Arbeit wurde eine Stratifizierung derselben Fläche- mit Hilfe der photogrammetrischen Ausrüstung der 1., 2., 3. und 4. Präzision durchgeführt und es sollte damit die prozentuale Größe des Gliedes:

$$\left[\sum_{h=1}^L (w_h - \bar{w}_h) \right]^2$$

im Standardfehler ermittelt werden.

In diesen Untersuchungen wurden die mit der Ausrüstung 1. Ordnung (Orthophotokarte) erzielten Ergebnisse und die damit zusammenhängenden Flächenschätzungen der Strata als fehlerfrei betrachtet.

2.615 Die Schätzung der Verbesserung infolge Stratifizierung ausgehend von den Stichprobenergebnissen.

Die Stratifizierung ist zu empfehlen, wenn durch die Unterteilung der Gesamtpopulation in Strata signifikante Varianzen zwischen den Durchschnittswerten bestehen und dadurch eine beträchtliche Reduzierung der Varianzen innerhalb der Straten im Vergleich zur Gesamtvarianz erreicht werden kann.

COCHRAN hat 1963 bewiesen, daß es möglich ist, die Differenzen zwischen der Genauigkeit nach der Stratifizierung und der Genauigkeit der entsprechenden uneingeschränkten zufälligen Stichprobe in derselben Population zu schätzen.

Die mittlere Streuung der stratifizierten Stichproben ist:

$$s_{xe}^2 = \sum_{h=1}^L \frac{w_h^2 s_h^2}{n_h} - \sum_{h=1}^L \frac{w_h s_h^2}{N} \quad (26.3)$$

Unter der Annahme, daß die Aufnahmeeinheiten einer uneingeschränkten zufälligen Stichprobe angehören, kann die durchschnittliche Varianz der Mittelwerte durch die Formel:

$$s_x^2 \text{ zuf.} = \frac{N-n}{n(N-1)} \left[\sum_{h=1}^L w_h s_h^2 - \sum_{h=1}^L \frac{w_h s_h^2}{n_h} + \sum_{h=1}^L \frac{w_h^2 s_h^2}{n_h} - \sum_{h=1}^L \frac{w_h s_h^2}{N} + \sum_{h=1}^L w_h \bar{x}_h^2 - \left(\sum_{h=1}^L w_h \bar{x}_h \right)^2 \right] \quad (26.4)$$

geschätzt werden.

Wie bei den meisten Großrauminventuren ist $N > 1000$, sodaß der Ausdruck

$$\sum_{h=1}^L \frac{w_h s_h^2}{N}$$

vernachlässigt werden kann.

Dieses Konzept konnte auch in den Ergebnissen der Forstinventur der PINHEIROS im Süden Brasiliens beobachtet werden.

Im vorliegenden Fall war $N = 11.674.904$ Einheiten à 1/4 ha

Die angegebenen Durchschnittswerte entsprechen dem Gesamtvolumen mit Rinde

Tab.261. Ergebnisse der Stichproben der PINHEIRO-Inventur

Strata	A _h (ha)	w _h	n _h	$\bar{x}_h$	s _h ²	s _h
T.I	120.776.56	0.04	138	492.68	61.862.10	248.72
T.II	444.642.20	0.15	80	304.97	8.315.06	91.19
T.III	2.353.307.86	0.81	103	134.56	3.754.92	61.28
Σ	2.918.726.62	1.00	321	-	-	-

Tab.262. Zusammenfassung der Ergebnisse

Strata	w _h $\bar{x}_h$	w _h $\bar{x}_h^2$	w _h s _h ²	w _h s _h ² / n _h	w _h s _h ² / n _h
T.I	19.71	9.709.34	2.474.48	17.93	0.72
T.II	45.75	13.951.01	1.247.26	15.59	2.34
T.III	108.99	14.666.18	3.041.49	29.53	23.92
Σ	174.45	38,326,53	6,763,23	63.05	26.98

Durch die Verwendung von Formel (26.3) wird die durchschnittliche Varianz durch die Stratifizierung:

$$s_{\bar{x}_e}^2 = 26.98 - \frac{6763.23}{11\ 674\ 904} \approx 26.98$$

berechnet und für die uneingeschränkte zufällige Stichprobe:

$$s_{\bar{x}}^2 \text{ zuf.} = \frac{11.674.904 - 321}{321 (11.674.904 - 1)} \left[6.763.23 - 63.05 + 26.98 + \right. \\ \left. + 38.326.53 - 30.432.80 \right] = 0.0031 \left[14.620.89 \right] \\ s_{\bar{x}}^2 \text{ zuf.} = 45.32$$

Die Varianz der Durchschnittswerte wird durch Stratifikation wie folgt reduziert:

$$p_{\bar{x}_e}^2 = \frac{s_{\bar{x}}^2 \text{ zuf.} - s_{\bar{x}_{he}}^2}{s_{\bar{x}_e}^2} = \frac{45.32 - 26.98}{26.98} \cdot 100 \\ p_{\bar{x}_e}^2 = 67.98\%$$

Die Schätzung der Reduktion im Verhältnis zum Standardfehler der Schätzung ergibt ein Fehlerprozent:

$$P_{\bar{x}_e} \% = \frac{6.73 - 5.19}{5.19} \cdot 100$$

$$P_{\bar{x}_e} \% = 29.67 \%$$

Die Reduktion des Stichprobenfehlers wird extrem ausgeglichen, wenn signifikante Variationen zwischen den durchschnittlichen Werten der Strata und den Varianzen der Strata bestehen.

Bei dieser Forstinventur wurde - aus Mangel an Informationen- die Allocation der Stichproben nicht nach der optimalen Verteilung durchgeführt. In diesem Fall empfiehlt sich die proportionale Einteilung als praktische Lösung. Sie konnte im vorliegenden Fall aus zeitlichen Gründen nicht durchgeführt werden. Durch eine Verspätung der Photointerpretation mußte die Verteilung der Stichproben vor der endgültigen Schätzung der Stratumflächen erfolgen, um eine große Verzögerung der Inventur im Gelände zu vermeiden. Bei Anwendung der optimalen Verteilung wäre die Reduktion des Fehlers größer gewesen. Diese Frage soll im nächsten Abschnitt behandelt werden.

2.616 Die Einflüsse der Abweichungen von der optimalen Verteilung auf die Genauigkeit der stratifizierten Stichproben.

Unter der Voraussetzung, daß in der vorliegenden Inventur eine optimale oder wenigstens proportionale Verteilung durchführbar gewesen wäre, kann angenommen werden, daß die Fehler kleiner sein müßten als bei einer subjektiven Verteilung. In diesem Fall kann die Streuung der Mittelwerte durch die optimale Verteilung als Minimum gesetzt werden:

$$s_{\bar{x}_e}^2 \min = \frac{1}{N} \left(\sum_{h=1}^L w_h s_h \right)^2 - \sum_{h=1}^L \frac{w_h s_h^2}{N} \quad (26.5)$$

Diese Ableitung ist auf TSCHUPROW (1923) zurückzuführen (COCHRAN, 1963). Die Bedingung dafür ist, daß die optimale Verteilung bereits durchgeführt

wurde oder daß:

$$n_h = \frac{n (w_h s_h)}{\sum_{h=1}^L w_h s_h} \quad (26.6)$$

Wird eine andere Verteilung gewählt, dann wird die Varianz der Durchschnittswerte durch Formel (26.3) berechnet. Das geschieht durch verschiedene Konditionen:

n_h für die optimale Verteilung

$\hat{n}_h$ für die proportionale Verteilung

n'_h für die tatsächlich durchgeführte Verteilung.

Die Vergrößerung der Varianz kann durch Formel (26.7.) von COCHRAN, 1963 gegeben werden.

$$R_{\bar{x}_e}^2 = \frac{s_{\bar{x}_e}^2 - s_{\bar{x}_e}^2 \min}{s_{\bar{x}_e}^2 \min} = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^L \frac{(n'_h - n_h)^2}{n_h} \quad (26.7)$$

Wenn die geschätzten Mittelwerte unverändert sind, ergeben sich folgende Resultate:

Tab.263 Tabellarisierung der Resultate zur Berechnung der Vergrößerung der Mittelvarianzen.

Stratum	n'_h	$\hat{n}_h$	n_h	$w_h s_h$	$n(w_h s_h)$	$\frac{(n'_h - n_h)^2}{n_h}$	$\frac{(\hat{n}_h - n_h)^2}{\hat{n}_h}$
T.I	138	13	44	9.95	3493.95	64.03	73.92
T.II	80	48	60	13.68	4391.28	5.00	3.00
T.III	103	260	217	49.64	15934.44	126.17	7.11
	321	321	321	73.27	--	195.20	84.03

Die Vergrößerung der Varianzen der Mittelwerte bei der tatsächlich durchgeführten Verteilung im Vergleich zu der optimalen Verteilung ergibt sich wie folgt:

$$R^2 \bar{x}_e \% = \frac{195.20}{321} \cdot 100 = 60,81 \%$$

Ebenso ergibt sich auch für die proportionale Verteilung:

$$R^2 \bar{x}_e \% = \frac{84.03}{321} \cdot 100 = 26,18\%$$

Diese Ergebnisse zeigen, daß es im Hinblick auf die Kostenreduzierung besser wäre, eine Vorinventur oder Pilotinventur durchzuführen, um Vorschätzungen der mittleren Streuung der Straten und die optimale Verteilung der Stichprobeneinheiten zu gewinnen.

2.62 Einschichtige Gruppenstichproben.

Trotz der grossen Vielfalt der dichten tropischen Wälder, hauptsächlich der entwickelten Standorte (terra firme) zeigt sich im Gleichgewichtszustand eine große Homogenität der Massen pro Flächeneinheit. Dies ist eine gute und zuverlässige Grundlage für die Anwendung von Gruppenstichprobenverfahren.

Wenn die zu inventarisierende Fläche sich gänzlich innerhalb der dichten Wälder befindet, zeigt die Gruppenstichprobe unter tropischen Bedingungen eine große Wirksamkeit. Ihre Begründung soll hier dargestellt und diskutiert werden. Die Theorie des Verfahrens wird als bekannt vorausgesetzt. (HANSEN, HURWITZ und MADOW, 1953, SUKHATME, 1954, SCHUMACHER and CHAPMAN, 1954, YATES, 1960, COCHRAN, 1963).

Die verschiedenen Autoren weisen darauf hin, daß die wichtigste Begründung für die praktische Durchführung des Gruppenstichprobenverfahrens der Gewinn an Wirksamkeit ist, wenn die Bedingungen der aufzunehmenden Population günstig sind. Diese Bedingungen sollen nachstehend präzisiert werden:

a) Die Gruppenstichprobe zeigt größere Flexibilität in ihrem Aufbau und bei der praktischen Anwendung als die einfacheren Methoden wie z.B. die uneingeschränkte zufällige Stichprobe. Diese Flexibilität ist bedingt

durch die Unterteilung der Gesamtpopulation in Einheiten, die sich aus einer oder mehreren Schichten von Stichprobengruppierungen zusammensetzen. Sie ermöglichen eine Konzentrierung der Außenarbeiten bei der Inventur großer Flächen. (YATES, 1960)

b) Die Kosten der Aufnahme von Stichprobeneinheiten, die auf dem ganzen Areal der Population nach dem uneingeschränkten Zufallsprinzip verteilt sind, sind meist höher als bei der Gruppierung von Einheiten. Die zusätzlichen Kosten bei der Aufnahme einer Nachbareinheit innerhalb einer Gruppe sind geringer als bei der Lokalisierung einer Einheit innerhalb einer uneingeschränkten zufälligen Stichprobe (SUKHATME, 1954).

c) Wenn die forstliche Population einigermaßen im Gleichgewicht, aber über eine bestimmte Fläche weit zerstreut ist, wird die Aufnahmeeinheit vergleichsweise größer sein. Sie soll eine solche Form haben, daß die Wahrscheinlichkeit, keine Informationen zu enthalten, (Nullfläche) möglichst klein ist. In diesem Fall werden Gruppen mit Untereinheiten als Stichprobeneinheiten der Population betrachtet (CHAPMAN, 1954).

Andere - bereits erwähnte - Verfasser behandeln diese Probleme ebenfalls. Ihre Schlußfolgerungen sind in den vorstehenden 3 Punkten im wesentlichen behandelt worden. Offensichtlich widersprechen die ersten beiden Punkte den Bedingungen der Forstinventuren in tropischen Wäldern.

Nach YATES ist die Flexibilität bei der Arbeit im Gelände abhängig von der Erreichbarkeit bzw. Erschließung der zu inventarisierenden Wälder. In unerschlossenen Wäldern sind die durchschnittlichen Wegkosten von einer Gruppe zur anderen größer (SUKHATME). Dadurch ist die Zusammenfassung der Einheiten in Gruppen wirksamer als bei uneingeschränkten zufälligen Stichproben.

Die optimale Planung der Gruppenstichprobe setzt eine ausführliche Analyse der nachstehend zu diskutierenden 4 Bedingungen voraus. Die mit diesen Inventurstichprobenverfahren gewonnenen Erfahrungen stellen die Ergebnisse der Forschungen in den tropischen dichten Wäldern im brasilianischen Amazonasgebiet dar.

- a) Die Bestimmung der Form der Einheiten einer Stichprobengruppe.
- b) Die Optimierung der Anzahl der Einheiten in der Stichprobengruppe.
- c) Die Optimierung der Größe der Einheiten.
- d) Die Optimierung der Entfernung zwischen den Einheiten.

2.621 Die Bestimmung der Form der Einheiten einer Stichprobengruppe:

Bei der ausführlichen Behandlung der Form der Aufnahmeeinheiten in der Literatur wird nachgewiesen, daß unter verschiedenen Bedingungen keine ideale Form generalisiert werden kann. PRODAN, 1965 stellte fest, daß die Wahl der Aufnahmeeinheiten das Ergebnis eines Kompromisses zwischen theoretischen und praktischen Überlegungen ist.

Eine wichtige Frage wird sein, diese Zusammenhänge auch in Verbindung mit den Grenzbäumen zu betrachten. Formen, die den kleinsten Umfang haben, werden Fehler minimieren. Die Kreisform ist beispielsweise bis zu einer Größe von 0,1 ha vorteilhaft. Bei größeren Aufnahmeeinheiten kann diese Form nicht empfohlen werden.

Im Rahmen der F A O wurden bei der Durchführung zahlreicher Forstinventuren in tropischen Regionen große Erfahrungen gewonnen. Neben der Kreisform haben die rechtwinkligen, rechteckigen Einheiten in den Tropen gegenüber anderen Formen merkliche Vorteile. (FAO 1973)

PEARCE, 1935 behauptet, daß nicht gesagt werden kann, welche der Aufnahmeeinheiten die beste ist, daß aber in den meisten Fällen die rechteckigen Einheiten besser sind als die quadratischen. Die Entscheidung muß für Aufnahmeeinheiten, die größer als 0,1 ha sind, in Übereinstimmung mit dem Zweck der Arbeit gefällt werden.

Andere Argumente bestehen bei der Arbeit in unwegsamem Gelände. (BOSE u.a. 1939 und LAYCOCK). Diese Autoren vertreten die Meinung, daß die Aufnahmeeinheiten in rechtwinkliger Form entlang einer Schichtenlinie vorteilhafter sind als größere Einheiten in quadratischer Form, die in Richtung der größten Neigung verlaufen.

Als Schlußfolgerungen in Verbindung mit der Intensität des Aufkommens verschiedener Baumarten in einem bestimmten Areal (s. Abb. 266) kann zusammenfassend gesagt werden:

Bei gegebener räumlicher Verteilung der Baumarten mit durchschnittlichen Entfernungen von 20 bis 40 m zwischen den vorherrschenden Bäumen (s. Abb. 267) und nach den bei den Aufnahmen gemachten Erfahrungen zeigt sich, daß die Größe der Aufnahmeeinheiten unter tropischen Verhältnissen

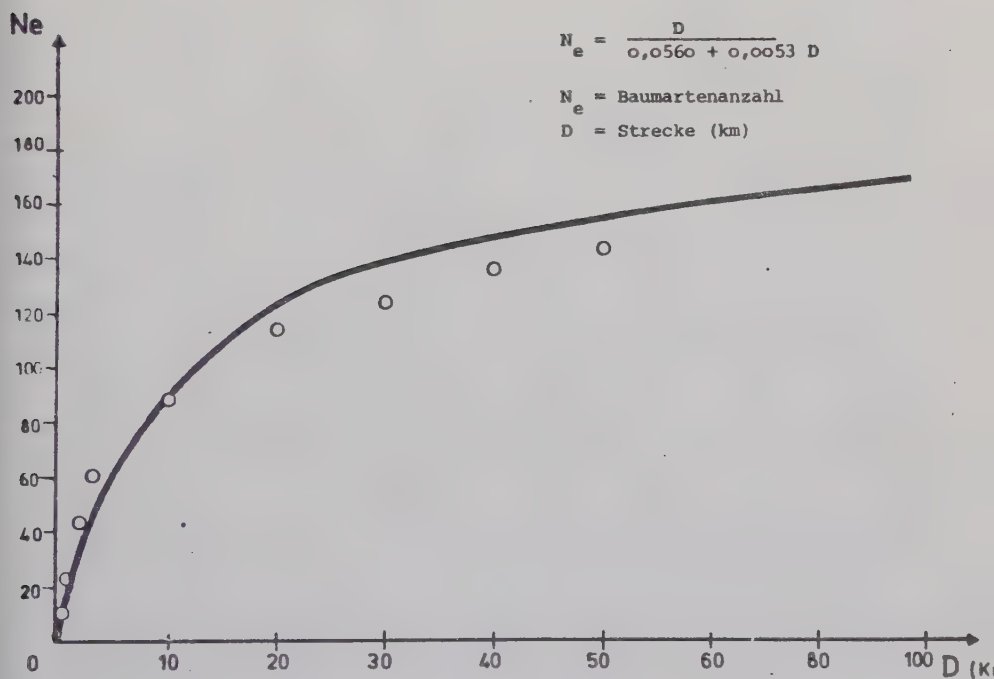
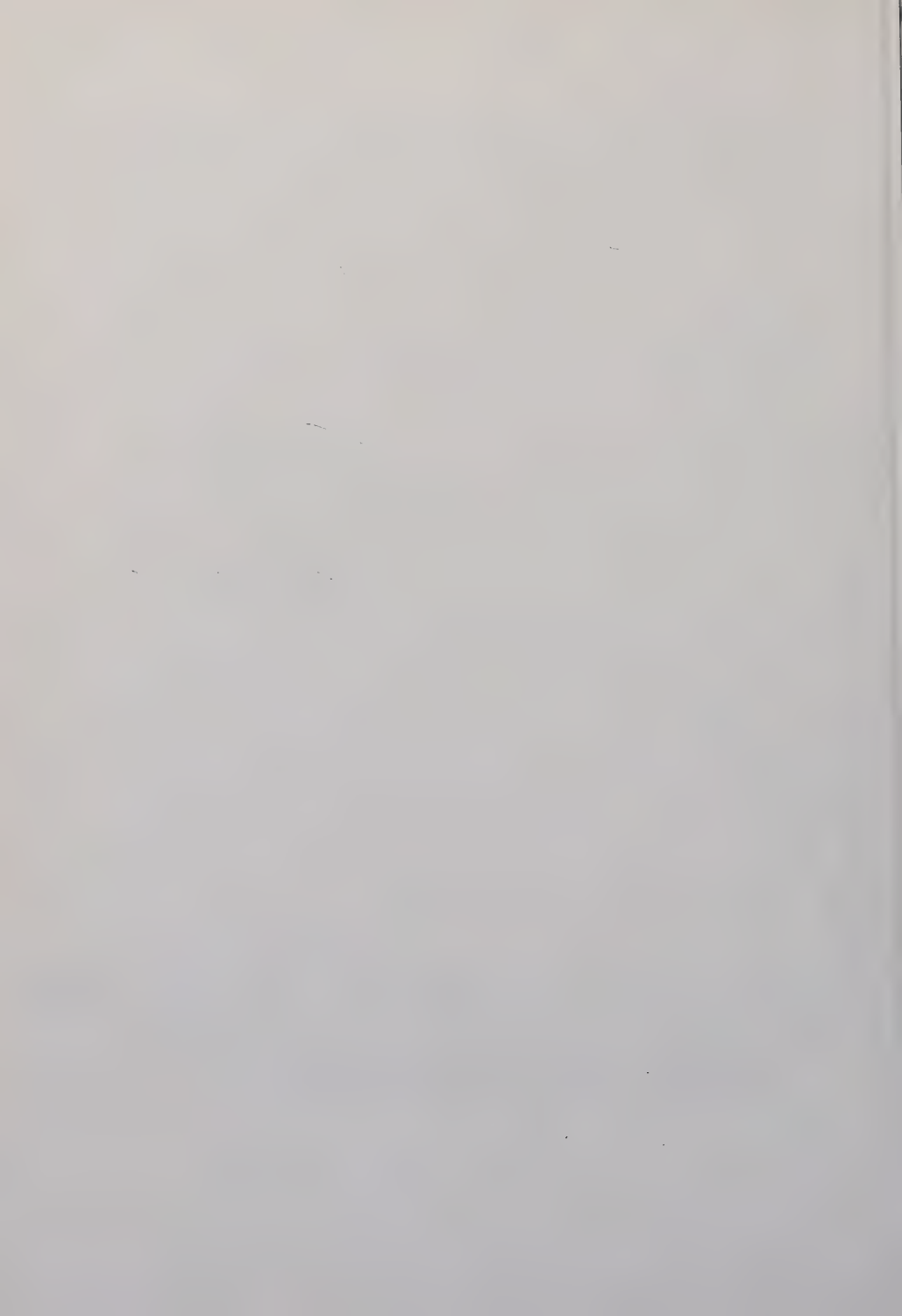


Abb.26.6 Beziehung zwischen der Zahl der Baumarten und der zurückgelegten Strecke im tropischen Wald des Amazonasgebietes.



Fläche: 100 ha , Baumzahl 2.022. Baumzahl/ha = 20

Masse= 6.162 cbm / 100 ha , d größer als 55 cm

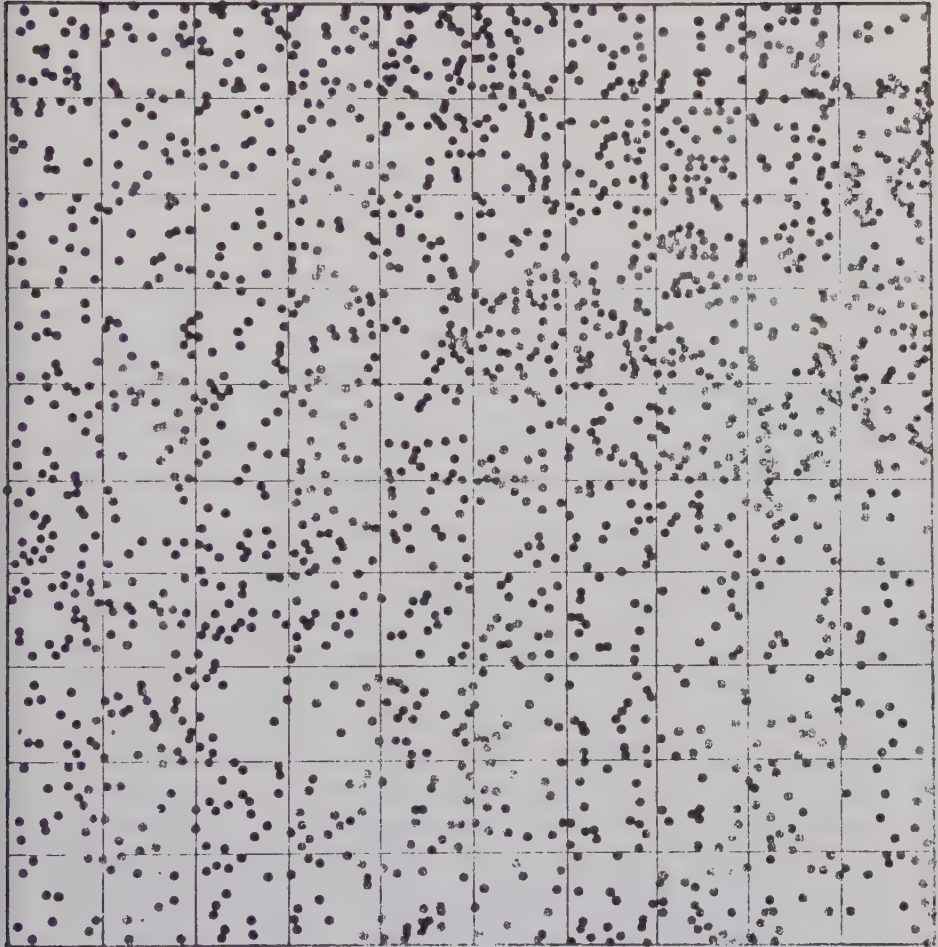
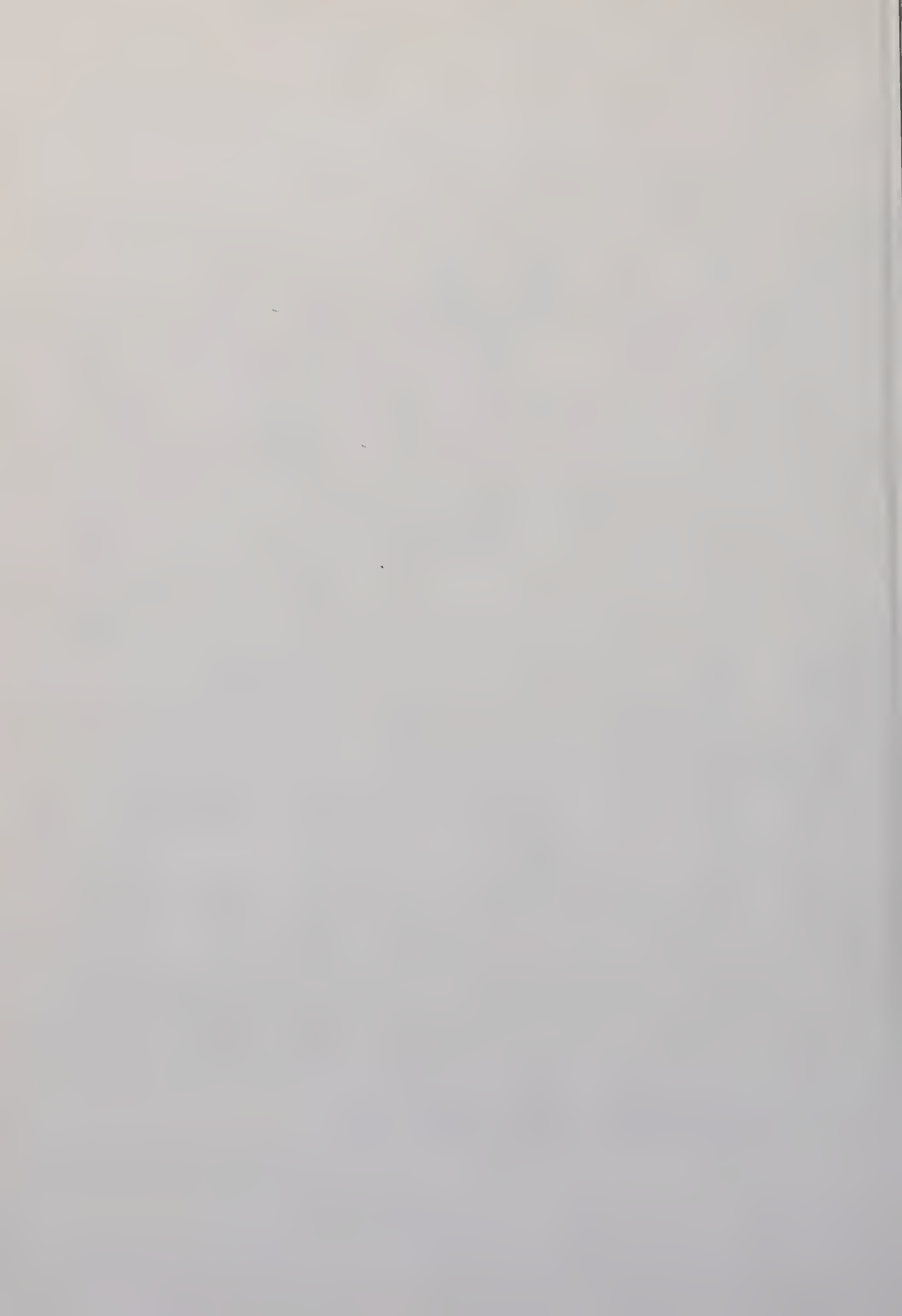


Abb. 1. / Flächenverteilung der Bäume auf 100 ha .

Holztechnologisches Zentrum SUDAM-SANTAREM



größer als 0,1 ha sein muß. Dabei ist die rechteckige Form die geeignetste und diese wird deshalb vom Verfasser für die Inventuren in tropischen Gegenden empfohlen.

2.622 Die Optimierung der Zahl der Einheiten in der Stichprobengruppe.

Die Optimierung der Zahl der Einheiten in einer Gruppe ist die erste Frage der Interaktion zwischen den Kosten und der geringsten Varianz des Mittelwertes aus der Stichprobe. Dieses Problem wurde von SUKHATME gelöst durch die Bedingung der Kostenreduktion bei diesem Verfahren im Vergleich zum Verfahren der uneingeschränkten zufälligen Stichprobe. Die Kostenfunktion für dieses Verfahren wurde ausführlich abgeleitet von HANSEN u.a.1953. Die vereinfachte Formel wird gewöhnlich bei Forstinventuren benutzt, bei denen keine übertriebenen Einzelheiten verlangt werden. Zusätzlich muß berücksichtigt werden, daß in tropischen Regionen Einzelheiten konkret nur schwer zu spezifizieren sind.

Die optimale Kostenfunktion kann wie folgt definiert werden:

$$C_g = C_1 n_2 + C_2 n_2 M$$

wobei: C_g = die totalen Kosten der Durchführung der Inventur in der Gruppenstichprobe

C_1 = die durchschnittlichen Kosten für Wege - berechnet aus den Wegekosten zwischen dem Stationierungspunkt der Arbeitsmannschaft und der Aufnahmeeinheit, sowie die Wegekosten zwischen den Gruppen und die Wegekosten für die Bestimmung und Absteckung der Aufnahmeeinheiten.

C_2 = Die durchschnittlichen Kosten für die Messungen jeder Einheit der Gruppe nach der Absteckung

n_2 = Gruppennummern in der Stichprobe

M = Nummern der Einheiten in jeder Gruppe

Die Kosten C_1 werden beeinflusst von der aufzunehmenden Gruppenanzahl n . Die Kosten C_2 sind beeinflusst von der Gesamtzahl der Aufnahmeeinheiten der Stichproben ($n \cdot M$)

Die große Schwierigkeit bei der Anwendung von Kostenfunktionen in tropischen Regionen besteht in der Instabilität dieser Kosten bei der Forstinventur. Sie werden von unzähligen Variationen wie Erreichbarkeit

und Verfügbarkeit der Arbeitskräfte, klimatische Konditionen, Erreichbarkeit der Aufnahmepunkte innerhalb der Wälder und vielem anderem beeinflusst. Deshalb ist es wichtig, einen Annäherungswert für den Quotienten $C_1 : C_2$ zu erhalten. Dies ist möglich durch Berechnung der Kosten pro Stunde in Funktion von der notwendigen durchschnittlichen Zeit für die Messung im Gelände. Nachdem die Löhne pro Tag bezahlt werden, können die Kosten C_1 leicht berechnet werden in Funktion von der Gesamtzahl der Stunden pro Tag:

$$C_1 = T_1 \cdot C_s$$

$$C_2 = T_2 \cdot C_s$$

wobei: T_2 = durchschnittliche, wirklich gebrauchte Zeit für die Aufnahmen im Gelände

$T_1 = 8 - M T_2$ = durchschnittliche Zeit für die Zurücklegung der Strecke innerhalb von 8 Arbeitsstunden pro Tag

C_s = Stundenlohn pro Mannschaft

Wird die Leistung einer Mannschaft in m^2 pro Stunde ausgedrückt, so ist die notwendige Zeit pro Tag für die Messungen:

$$S_{T_2} = \frac{A \cdot M}{E_s}$$

wobei: A = die Fläche der Aufnahmeeinheit

M = Anzahl dieser Einheiten.

Werden - aus Zweckmäßigkeitsgründen - die Kosten in Form eines Quotienten ausgedrückt:

$$\frac{C_1}{C_2} = R$$

und:

$$C_1 = R C_2 \quad (26.12)$$

Die Kostenfunktion kann dann ausgedrückt werden:

$$C = R C_2 n_2 + C_2 n_2 M$$

und:

$$C = C_2 n_2 (R + M) \quad (26.13)$$

Für die durchschnittlichen Aufnahmekosten C_2 ergibt sich unter den Bedingungen des Amazonasgebietes :

$$18 \text{ Dm} < C_2 < 24 \text{ Dm} \quad (26.14)$$

Da das Gruppenaufnahmeverfahren unter bestimmten Voraussetzungen wirksamer ist als die uneingeschränkte Zufallsmethode oder die stratifizierte Methode, ist es möglich, die Wirksamkeit durch Vergleich der Gesamtkosten der Stichprobenverfahren in Gruppen und der uneingeschränkten Zufallsstichproben zu quantifizieren.

Die Funktion der Kosten für die uneingeschränkte Zufallsstichprobe ist:

$$C_z = n_1 C_1 + n_1 C_2 = n_1 (C_1 + C_2) \quad (26.15)$$

Die Differenz zwischen (26.15) und (26.12) ist:

$$D_C = C_z - C_g = (n_1 - n_2) C_1 + (n_1 - n_2 M) C_2 \quad (26.16)$$

Zu beachten ist, daß die Kosten C_2 bei beiden Stichproben gleichbleibend sind, während sich die Kosten C_1 unterscheiden.

Bei der Aufnahme in Gruppen ist C_1 kleiner als bei der Zufallsstichprobe, weil bei der Gruppenstichprobe mehrere Einheiten aufgenommen werden können als bei der uneingeschränkten zufälligen Stichprobe.

Die unter diesen Umständen variierende Grösse ist der Quotient R der Kosten. Wird der Ausdruck (26.12) in Formel (26.15) eingeführt, dann resultiert der allgemeine Ausdruck für diese Funktion:

$$D_C = (n_1 - n_2) R C_2 + (n_1 - n_2 M) C_2 \quad (26.17)$$

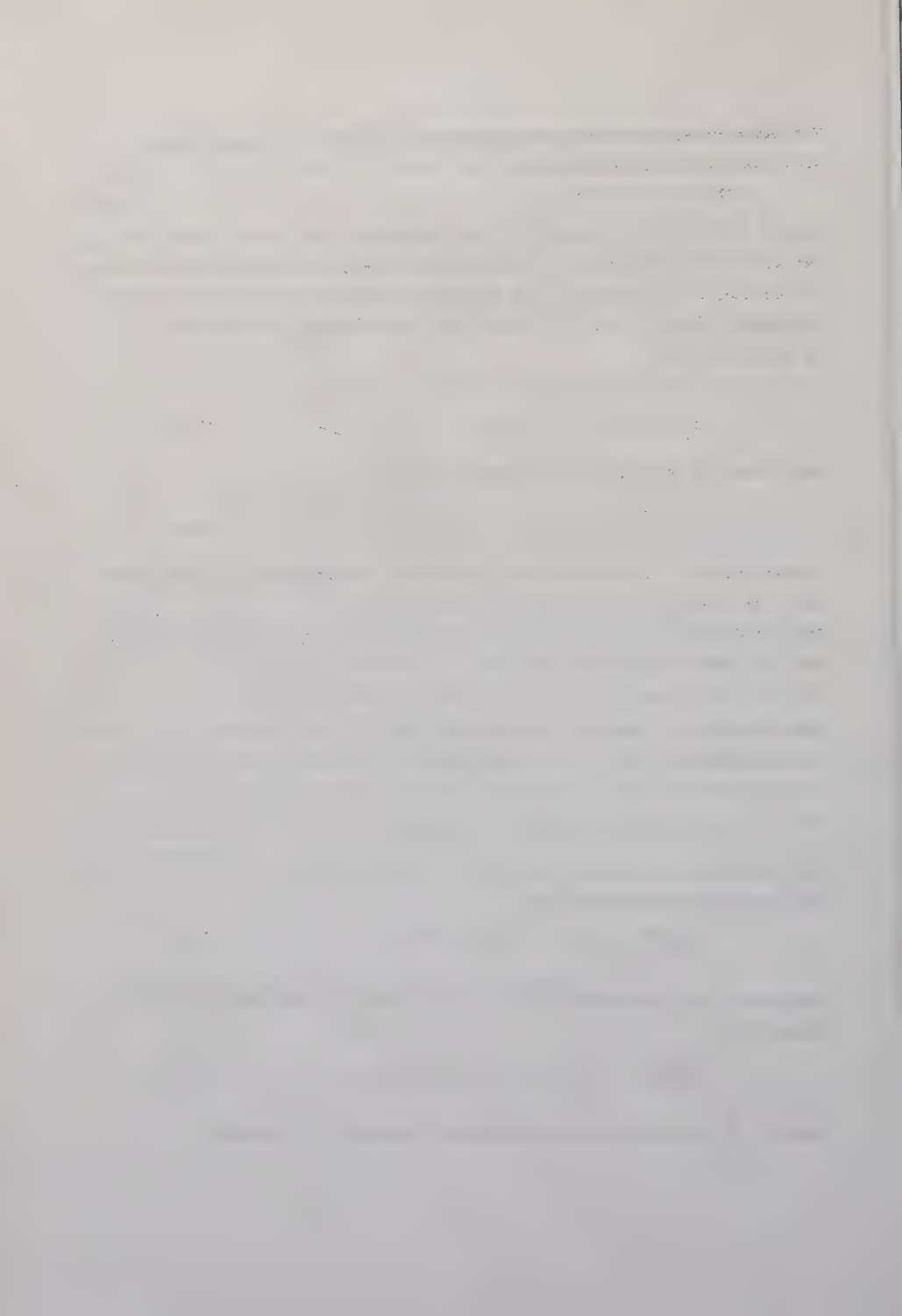
Die Varianz der Durchschnitte bei der uneingeschränkten zufälligen Stichprobe für endliche Populationen ist:

$$s_{\bar{x}_z}^2 = \frac{s^2}{n_1} (1 - f_1) \quad (26.18)$$

Die Varianz der Durchschnitte bei der Gruppenstichprobe für endliche Populationen ist:

$$s_{\bar{x}_g}^2 = \frac{s^2}{n_2 M} (1 + \delta (M-1) (1-f_2)) \quad (26.19)$$

wobei: δ = der Korrelationskoeffizient zwischen den Gruppen.



Dieser Korrelationskoeffizient wird mittels Varianzanalyse errechnet und nach COCHRAN, 1964 wie folgt definiert:

$$\delta = \frac{(N-1) M s_z^2 - (NM-1) s^2}{(NM-1) (M-1) s^2} = \frac{s_z^2 - s^2}{(M-1) s^2} \quad (26.20)$$

wobei: N = Gesamtzahl der Gruppen der Population

s_z^2 quadratisches Mittel zwischen den Gruppen nach der Varianzanalyse mit N Gruppen

Für große Areale kann gesetzt werden $N (M-1) \approx NM - 1$

Dieser Parameter wird unter Benutzung der - aus Stichproben erhobenen- Varianzen s_z^2 und s_1^2 geschätzt:

$$s^2 = \frac{(N-1) s_z^2 + N (M-1) s_1^2}{NM - 1}$$

wobei: s_1^2 = die Varianz der Einheiten innerhalb der Gruppen.

In der Praxis ist bei großen Arealen

$$N - 1 \approx N$$

Das ergibt die bekanntere Formel zur Schätzung der Varianz:

$$s^2 = \frac{s_z^2 + (M-1) s_1^2}{M}$$

Unter der Annahme, daß die Reduktion der Kosten zu Gunsten der Gruppenstichprobe für denselben festgelegten Fehler berücksichtigt wurde, ist:

$$\frac{s^2}{n_1} (1-f_1) = \frac{s^2}{n_2 M} (1 + \delta (M-1)) (1 - f_2)$$

und dementsprechend:

$$n_2 = \frac{n_1 (1-f_2)}{M (1-f_1)} (1 + \delta (M-1)) \quad (26.22)$$

Wird der Quotient der Kosten $C_1 : C_2$ (in allgemeiner Form wie in 26.12) in 26.22 und 26.17 eingeführt, dann ist der endgültige Ausdruck von D_c :

$$D_c = C_2 \left\{ \left(n_1 - \frac{n_1(1-f_2)}{M(1-f_1)} [1 + \delta(M-1)] \right) R + \left(n_1 - \frac{n_1(1-f_2)}{(1-f_1)} [1 + \delta(M-1)] \right) \right\} \quad (26.23)$$

oder:

$$D_c = RC_2 n_1 - \frac{RC_2 n_1 (1-f_2)}{M(1-f_1)} - \frac{RC_2 n_1 \delta (1-f_2)}{(1-f_1)} + C_2 n_1 - \frac{C_2 n_1 (1-f_2)}{(1-f_1)} - \\ - \frac{C_2 n_1 \delta M (1-f_2)}{(1-f_1)} + \frac{C_2 n_1 \delta (1-f_2)}{(1-f_1)}$$

Bei Inventuren großer Areale ist $(1-f_2) \geq 0,98$ und $(1-f_1) \geq 0,98$

Eine Vereinfachung der Formel ist also:

$$D_c = RC_2 n_1 - \frac{RC_2 n_1}{M} - RC_2 n_1 \delta + \frac{RC_2 n_1 \delta}{M} - C_2 n_1 \delta M + C_2 n_1 \delta \quad (26.24)$$

Eine Auswertung dieser Gleichung anhand eines Beispiels gibt einen Überblick über ihren Geltungsbereich und zeigt, unter welchen Bedingungen bei festgelegter Genauigkeit eine Stichprobe in Gruppen vorteilhafter sein kann als eine uneingeschränkte zufällige Stichprobe.

Im Beispielsfall ist:

$n_1 = 180$, Anzahl der Gruppen, die durch Zufall erfaßt werden.

$R = 3$ = der durchschnittliche Quotient der Kosten

$18 D_m < C_2 < 24 D_m$ = die Kostengrenzen für die Aufnahmearbeit entsprechend (26.14)

Die Gleichung für die verschiedenen Werte von δ und M ergibt eine Kurvenfamilie für beide Grenzen der Variablen C_2 . Im vorliegenden Fall nimmt δ Werte zwischen 0 und 1,0 ($0 \leq \delta \leq 1,0$) ein und M zwischen 2 und 15 ($2 \leq M \leq 15$). Es wird also eine Gruppe von Lösungen gegeben, wenn $M > 2$.

Die Ergebnisse dieses Beispiels sind in den Tabellen 264 und 265 gegeben.

Daraus erhellt, daß die Gruppenstichprobe günstig ist, wenn die Kostendifferenz positiv ist. Der optimale Punkt ist natürlich gegeben, wenn die Kostendifferenz ein Maximum erreicht. (s. Abb. 26.7a und 26.7b)

Die Ableitung der Funktion 26.24 in Bezug auf M führt zu der Formel für den optimalen Wert:

$n_1 = 180$
 $C_2 = 18. \text{ Dm}$
 $R = 3$

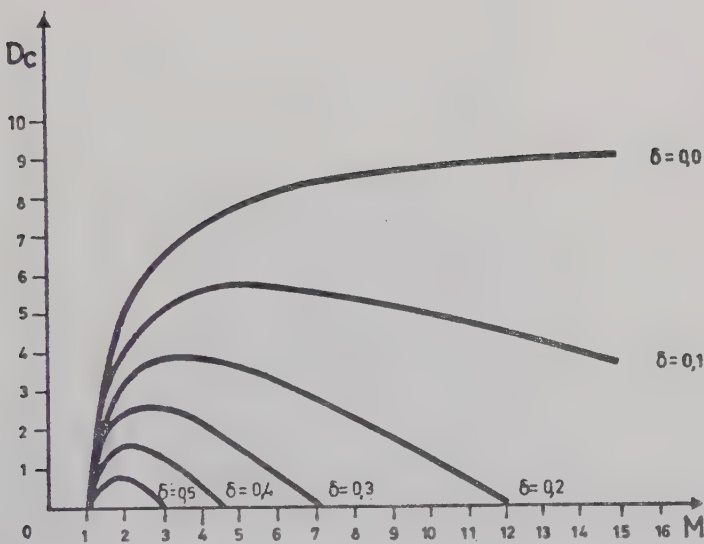


Abb. 26.7a Kostendifferenz zwischen der Gruppenstichprobe und der uneingeschränkten Zufallsstichprobe

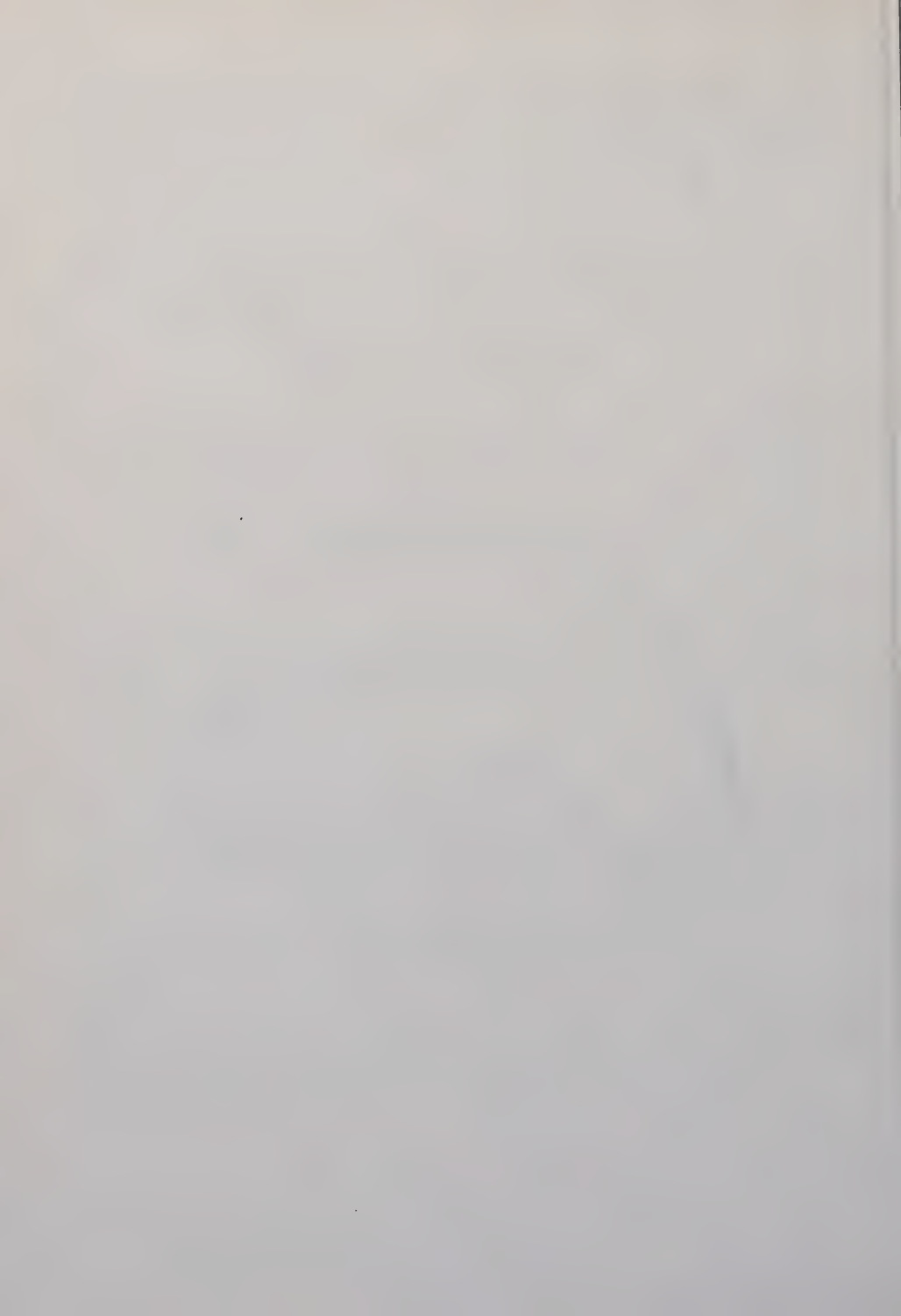


Tabelle 264. Theoretische Verteilung der Kostendifferenzen D_c zwischen der Gruppenstichprobe und uneingeschränkten zufälligen Verteilung (1000 DM).
 $R = 3$ $n_1 = 180$ $C_2 = 18$ DM

M	$\delta =$										
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
2	4.86	4.05	3.24	2.43	1.62	0.81	0.00	-0.81	-1.62	-2.43	-3.24
3	6.48	5.18	3.89	2.59	1.30	0.00	-1.30	-2.59	-3.89	-5.18	-6.48
4	7.29	5.59	3.89	2.19	0.49	-1.22	-2.92	-4.62	-6.32	-8.02	-9.72
5	7.78	5.70	3.63	1.56	-0.52	-2.59	-4.67	-6.74	-8.81	-10.89	-12.96
6	8.10	5.67	3.24	0.81	-1.62	-4.05	-6.48	-8.91	-11.34	-13.77	-16.20
7	8.33	5.55	2.78	0.00	-2.78	-5.55	-8.33	-11.11	-13.89	-16.66	-19.44
8	8.51	5.39	2.27	-0.85	-3.97	-7.09	-10.21	-13.99	-16.44	-19.56	-22.68
9	8.64	5.18	1.73	-1.73	-5.18	-8.64	-12.10	-15.55	-19.01	-22.46	-25.92
10	8.75	4.96	1.17	-2.62	-6.42	-10.21	-13.99	-17.79	-21.58	-25.37	-29.16
11	8.84	4.71	0.59	-3.53	-7.66	-11.78	-15.91	-20.03	-24.15	-28.28	-32.40
12	8.91	4.46	0.00	-4.46	-8.91	-13.36	-17.82	-22.28	-26.73	-31.19	-35.64
13	8.97	4.19	-0.50	-5.38	-10.17	-14.95	-19.74	-24.52	-29.31	-34.09	-38.88
14	9.03	3.91	-1.20	-6.32	-11.43	-16.55	-21.66	-26.78	-31.89	-37.01	-42.12
15	9.07	3.63	-1.81	-7.26	-12.70	-18.14	-23.59	-29.03	-34.47	-39.92	-45.36



Tabelle 265. Theoretische Verteilung der Kostendifferenzen D_c zwischen der Gruppenstichprobe und uneingeschränkten zufälligen Verteilung (1000 DM).
 $R = 3 \quad n_1 = 180 \quad C_2 = 24 \text{ DM}$

M	$\delta =$										
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
2	6.48	5.40	4.32	3.24	2.16	1.08	0.00	-1.08	-2.16	-3.24	-4.32
3	8.64	6.91	5.18	3.46	1.73	0.00	-1.73	-3.46	-5.18	-6.91	-8.64
4	9.72	7.45	5.18	2.92	0.65	-1.62	-3.89	-6.16	-8.42	-10.69	-12.96
5	10.37	7.60	4.84	2.07	-0.69	-3.46	-6.22	-8.99	-11.75	-14.52	-17.28
6	10.80	7.56	4.32	1.08	-2.16	-5.40	-8.64	-11.88	-15.12	-18.36	-21.60
7	11.11	7.40	3.70	0.00	-3.70	-7.41	-11.11	-14.81	-18.51	-22.22	-25.92
8	11.34	7.18	3.02	-1.34	-5.29	-9.45	-13.61	-17.77	-21.92	-26.08	-30.24
9	11.52	6.91	2.30	-2.30	-6.91	-11.52	-16.13	-20.74	-25.34	-29.95	-34.56
10	11.66	6.61	1.56	-3.50	-8.55	-13.61	-18.66	-23.72	-28.77	-33.83	-38.88
11	11.78	6.28	0.79	-4.71	-10.21	-15.71	-21.21	-26.71	-32.20	-37.70	-43.20
12	11.88	5.94	0.00	-5.94	-11.88	-17.82	-23.76	-29.70	-35.64	-41.58	-47.52
13	11.96	5.58	-0.80	-7.18	-13.56	-19.94	-26.32	-32.70	-39.08	-45.46	-51.84
14	12.03	5.21	-1.60	-8.42	-15.24	-22.06	-28.88	-35.70	-42.52	-49.34	-56.16
15	12.10	4.84	-2.42	-9.68	-16.93	-24.19	-31.45	-38.71	-45.96	-53.22	-60.48

$$\frac{\partial D_c}{\partial M} = \frac{n_1 R C_2 (1-f_2)}{M^2 (1-f_1)} - \frac{n_1 R C_2 \delta (1-f_2)}{M^2 (1-f_1)} - \frac{n_1 C_2 \delta (1-f_2)}{(1-f_1)}$$

Eine Auflösung nach M ergibt:

$$M^2 = R \cdot \frac{1-\delta}{\delta} \quad M = \sqrt{\frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{1-\delta}{\delta}} \quad (26.25)$$

Die Gleichung 26.25 wurde bereits von MADOW mit einem etwas anderen Gedankengang aufgestellt und findet sich in HANSEN u.a., 1953.

Die Darstellungen zeigen, daß die Zulässigkeit des Stichprobenverfahrens streng an den Korrelationskoeffizienten δ zwischen den Gruppen gebunden ist.

Dieser Koeffizient bringt den Homogenitätsgrad der Variablen :Volumen pro Flächeneinheit- in der räumlichen Gesamtamplitude der aufgenommenen Population zum Ausdruck. Je kleiner dieser Koeffizient ist, desto größer wird die Wirksamkeit der Anwendung der Gruppenstichprobe. Diese Bedingung ist logisch abhängig vom Ergebnis der Varianz zwischen den Gruppen s_e^2 die mit der Varianzanalyse geschätzt werden kann. Infolgedessen ist:

$$\begin{aligned} s_z^2 &= s_i^2 + M s_e^2 \\ s_e^2 &= \frac{s_z^2 - s_i^2}{M} \end{aligned} \quad (26.26)$$

Da die Gesamtvarianz des Quadrates s^2 gleich ist mit der Summe der Varianzen in den Gruppen s_i^2 und zwischen den Gruppen von s_e^2 kann der Koeffizient δ in Funktion von s_e^2 ausgedrückt werden:

$$s^2 = s_e^2 + s_i^2 \quad (26.27)$$

und:

$$\delta = \frac{s_z^2 - (s_e^2 + s_i^2)}{(M-1) s^2} = \frac{s_z^2 + M s_e^2 - s_i^2}{(M-1) s^2} = \frac{s_e^2}{\frac{s^2}{M}} = \frac{s_e^2}{s_e^2 + s_i^2} \quad (26.28)$$

Die Gleichung 26.28 erlaubt, den Einfluß der Variation zwischen den Gruppen s_e^2 als wichtigen Entscheidungsfaktor für dieses Stichprobenverfahren klar aufzuzeigen. Unter tropischen Bedingungen kann, wenn sich der Wald im Gleichgewicht befindet, erwartet werden, daß das Volumen pro Flächeneinheit in den dichten Wäldern große Homogenität aufweist.

Aus den im Amazonasgebiet bei vier großen Inventuren gewonnenen Erfahrungen resultiert, daß der Korrelationskoeffizient δ zwischen 0,1 und 0,4 variiert. Dies beweist die große Homogenität der Variablen :Volumen pro Flächeneinheit.

Der - nach den Bedingungen von Formel 26.12 geschätzte R-Wert wird von der Variation der Größe der Einheiten, die eine Gruppe bilden, stark beeinflusst. Die Schlußfolgerungen über die Anzahl der Einheiten ist abhängig vom Einfluß der Größe der Einheiten auf die Gesamtkosten der Stichproben.

2.623 Die Optimierung der Größe der Einheiten, die eine Stichprobengruppe bilden.

Die Optimierung der Größe der Einheiten stellt ein wichtiges Problem der Forstinventur dar. Es besteht in der Feststellung der Beziehung zwischen der Genauigkeit und den Inventurkosten.

Über diese Frage besteht umfangreiche Literatur. Die Autoren begründen- wie SPURR empfohlen hat- die Entscheidung der Größe der Aufnahmeeinheiten im Zusammenhang mit dem Reifegrad der Wälder . SPURR schlägt Aufnahmeeinheiten von 1000 m^2 für reife Bestände und $400 - 800 \text{ m}^2$ für jüngere Bestände vor.

Dabei wird das Kriterium des Durchmesserbereiches herangezogen. LISSDANIELS (zitiert von SPURR, 1971) wählte Aufnahmeeinheiten von 20 m^2 für Durchmesserstufen bis 17 cm, 80 m^2 für Durchmesserstufen zwischen 17 und 28 cm und 200 m^2 für Klassen über 28 cm.

Außerdem wurde - wie von der Generaldirektion der Wälder von Portugal auch gefordert- noch das Kriterium der Natürlichkeit der forstlichen Strata verlangt. Portugal schreibt vor, daß für reine und gleichmäßige Bestände kleinere Aufnahmeeinheiten und beim Übergang zu älteren und heterogenen Beständen größere Aufnahmeeinheiten zu verwenden sind. Es wurden dann Aufnahmeeinheiten zwischen 200 und 1000 m^2 ausgeschieden und gefordert, daß die Kenntnis der forstlichen Lage einen Kompromiß zwischen Genauigkeit und Kosten ermöglichen muß. GOMES, 1957)

PRODAN, 1965 beschreibt den Einfluß der Größe der Aufnahmeeinheiten auf die Variationskoeffizienten. Theoretisch ist gesichert, daß je größer die Aufnahmeeinheiten, desto kleiner wird der Korrelationskoeffizient sein. Dieser Zusammenhang ist die Grundlage für die Entscheidung der Größe der Aufnahmeeinheiten.

LOETSCH, ZÖHRER, HALLER, 1973 behaupten, daß die Optimierung der Aufnahmeeinheiten ohne Beachtung der variablen Kosten nicht möglich ist. Sie stellen fest, daß die Wirksamkeit einer Forstinventur bei vorgegebener Genauigkeit mit einem Minimum an Kosten erreicht wird.

M.E. ist es unerläßlich, daß bei der Optimierung der Aufnahmeeinheiten die Kostenkomponenten vorher berücksichtigt werden müssen.

Zusätzlich ist bedeutungsvoll, daß die Optimierung der Größe der Aufnahmeeinheiten bei der Gruppenstichprobe nur bei Beachtung der Anzahl der Einheiten, die eine Gruppe bilden, möglich ist. In diesem Stichprobenverfahren wird die Gruppe als eine von M-Einheiten gebildete Stichprobeneinheit betrachtet.

In einem Forschungsprojekt auf einer Fläche von 5306,04 ha im Nationalwald von TAPAJOS im Staate PARA wurde untersucht, wie die Anlage solcher Gruppen mit einer optimierten Struktur realisiert werden kann.

QUEIROZ, 1977 hat -unter der Leitung des Verfassers- dieses Projekt durchgeführt und stellte in seiner Magisterdissertation einige Teilergebnisse von der Optimierung der Größe der Elemente in der Aufnahmeeinheit dar. Die Frage der Kosten bei dieser Optimierung behandelte er nicht und stützt seine Schlußfolgerung nur auf die Reduktion des Variationskoeffizienten.

Die untersuchte Fläche wurde unterteilt in 51 Gruppen mit je 104,04 ha pro Gruppe. Eine Aufnahmeeinheit wurde definiert wie in Abb. 26.8. dargestellt und wurde erstmalig bei der Forstinventur von ALTO TURI im Staate MARANHÃO verwendet (PELLICO, 1971). Die Wahl der Gruppen mit 4 Elementen - basierend auf praktischen Erfahrungen wurde bis in jüngster Zeit beibehalten.

In dem Forschungsprojekt wurden die Einheiten in der Gruppe so organisiert, daß verschiedene Größen analysiert werden können. Die geplanten Größen von 25 Quadraten à 400 m^2 ($20 \times 20 \text{ m}$) erlaubten successive oder nachfolgende Analysen von 25 zusammengesetzten Größen für jede Einheit. Durch Varianzanalysen wurde es möglich, das Verhalten des Variationskoeffizienten festzustellen.

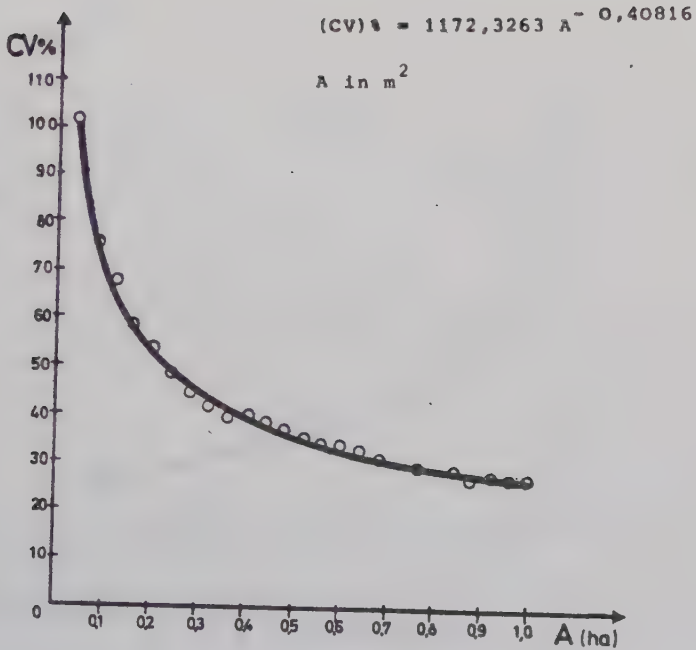


Abb. 26.9 Beziehung zwischen dem Variationskoeffizienten und der Größe der Einheiten in der Gruppe. Für alle Baumarten.

$$(cv) \% = 2588,7641 \cdot A^{-0,358936}$$

A in m²

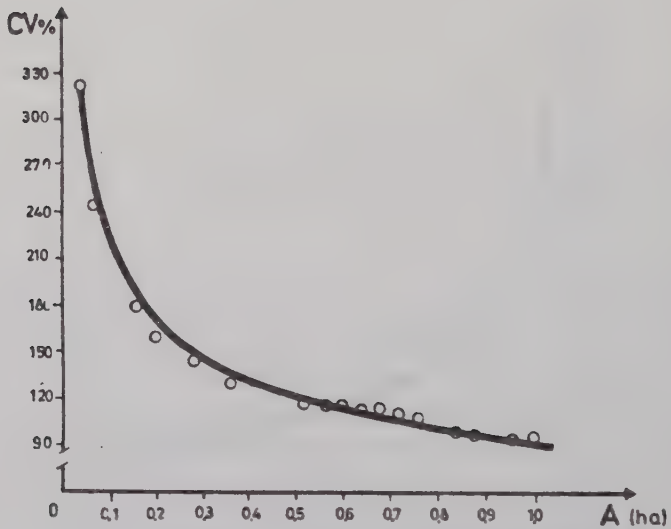


Abb.26.10 Beziehung zwischen dem Variationskoeffizienten und der Größe der Aufnahmeeinheiten für eine Baumartengruppe

Durch das Vorhandensein von 167 Baumarten in dieser Inventur wurden mit solchen Analysen zunächst das Gesamtvolumen für alle Baumarten, dann für eine bestimmte Gruppe von Baumarten und für die Baumart *Manilkara huberi* (Macaranduba) bestimmt. Das Volumen der Aufnahmeeinheit wurde aus den Volumen der Einzelbäume geschätzt durch die Funktion:

$$V = a \cdot d^b h^c \quad (26.29)$$

wobei: $a = 0,06884$

$b = 2,02978$

$c = 0,75172$

$$R^2 = 0,996$$

$$\frac{s^2}{x} = 0,128$$

Die Daten wurden ausgewertet von der Rechengruppe der Federaluniversität von PARA. Sie wurden in Tab.266 wiedergegeben.

Die Beziehung zwischen dem Variationskoeffizient c_v und die Fläche der Aufnahmeeinheiten wurde ausgeglichen durch die Funktion:

$$c_v = a \cdot A^b$$

wobei: A = die Fläche der Aufnahmeeinheiten

a und b = die Koeffizienten dieser Funktion.

Die Gleichungen für das Gesamtvolumen aller Baumarten und eine Baumartengruppe sind: a) für alle Baumarten

$$(cv)\% = 1172,3263 \cdot A^{-0,4081574} \quad (26.30)$$

wo:

$$(cv) = 11,72 \cdot A^{-0,41}$$

und:

$$(cv)^2 = 137,43 \cdot A^{-0,82} \quad (26.31)$$

Für eine lineare Gleichung ist :

$$\log (cv) = \log a + b \cdot \log A$$

$$R^2 = 0,9977$$

b) für eine Baumartengruppe:

$$(cv)\% = 2588,7641 \cdot A^{-0,358936} \quad (26.32)$$

wo: $(cv) = 25,89 \cdot A^{-0,36}$

und:

$$(cv)^2 = 670,29 \cdot A^{-0,72} \quad (26.33)$$

Diese Funktionen sind in den Abb.26.9 und 26.10 dargestellt

Tabelle 266 Statistische Ergebnisse für verschiedene Flächengrößen der Einheiten in Gruppen.

Fläche (m ²)	Gesamtvolumen				Teilvolumen f. BA-Gruppe				Volumen f. BA Macarauduba			
	Durchschnitt (m ³)	s ²	δ	c _v	Durchschnitt (m ³)	s ²	δ	c _v	Durchschnitt (m ³)	s ²	δ	c _v
400	4.48	21	0.025	101	0.56	3	0.047	319	0.23	1	0.000	436
800	9.04	46	0.064	75	1.06	7	0.129	241	0.42	2	0.007	320
1 200	14.11	92	0.055	68	2.20	20	0.087	204	0.72	4	0.054	280
1 600	19.23	127	0.065	59	2.69	23	0.136	179	0.91	5	0.060	238
2 000	24.43	171	0.073	54	3.22	28	0.146	165	1.15	7	0.096	224
2 400	28.86	198	0.105	49	3.77	33	0.192	153	1.40	9	0.154	212
2 800	32.79	213	0.150	44	4.28	38	0.210	144	1.67	11	0.174	200
3 200	37.44	243	0.213	42	4.48	46	0.276	140	1.87	13	0.214	190
3 600	42.48	285	0.186	40	5.48	51	0.255	131	2.11	15	0.191	181
4 000	47.94	371	0.177	40	6.45	72	0.268	132	2.37	19	0.176	182
4 400	53.09	432	0.212	39	7.15	87	0.290	130	2.69	25	0.193	186
4 800	57.85	471	0.244	38	7.80	93	0.305	124	3.00	30	0.198	183
5 200	63.37	519	0.306	36	8.89	108	0.406	117	3.40	33	0.278	168
5 600	68.06	565	0.290	35	9.50	118	0.407	114	3.68	36	0.266	162
6 000	72.68	660	0.300	35	10.31	139	0.401	114	4.01	39	0.321	155
6 400	78.26	686	0.274	33	10.91	115	0.406	110	4.17	39	0.318	150
6 800	83.23	704	0.279	32	11.48	163	0.408	111	4.45	45	0.319	150
7 200	88.17	729	0.277	31	12.19	175	0.428	109	4.82	48	0.321	144
7 600	93.44	772	0.305	30	12.83	185	0.441	106	5.20	56	0.316	144
8 000	98.32	842	0.316	30	13.40	196	0.437	104	5.49	60	0.313	141
8 400	102.73	908	0.313	29	14.01	205	0.429	102	5.71	62	0.324	138
8 800	107.44	923	0.339	28	14.60	213	0.441	100	5.86	66	0.342	138
9 200	111.86	997	0.354	28	15.04	224	0.452	100	6.02	72	0.365	140
9 600	116.38	1055	0.361	28	15.69	236	0.445	98	6.32	75	0.363	137
10 000	121.23	1149	0.365	28	16.27	255	0.460	98	6.53	79	0.391	136

Wird die - in 26.19 definierte- Varianz der Mittelwerte in Verbindung mit. dem Variationskoeffizienten in eine relative Form transformiert, so resultiert die relative Varianz $(v_{\bar{x}}^2)$

$$v_{\bar{x}}^2 = \frac{(c_v)^2}{n_2 M} (1 + \delta(M-1)) \quad (26.36)$$

Vor Beginn der Inventur wird eine erforderliche Genauigkeit für E^2 festgelegt. Durch Vergleich mit der berechneten Genauigkeit nach der Inventur kann die Aufnahmeintensität n bestimmt werden. Der Schätzung werden 95% Sicherheit (= 5% Überschreitungswahrscheinlichkeit) zugrundegelegt:

$$n_2 = \frac{t^2 (c_v)^2}{E^2 M} (1 + \hat{\delta}(M-1)) \quad (26.37)$$

Durch Verbindung der Gleichungen 26.37, 26.31, 26.33, 26.35 und 26.13 resultiert eine Funktion, die die Optimierung der Größe der Einheiten ermöglicht:

$$C = C_2(R+M) \frac{t^2 (c_v)^2}{E^2 M} (1 + \delta(M-1))$$

oder:

$$C = \frac{RC_2 t^2 (c_v)^2}{E^2 M} + \frac{RC_2 (c_v)^2 t^2 \delta}{E^2} - \frac{RC_2 (c_v)^2 t^2 \delta}{E^2 M} + \frac{C_2 (c_v)^2 t^2}{E^2} +$$

$$\frac{C_2 (c_v)^2 t^2}{E^2} \cdot M \cdot \delta - \frac{C_2 (c_v)^2 t^2 \delta}{E^2} \quad (26.38)$$

Die optimale Lösung für die Größe der Einheiten in der Gruppe ist eine Funktion von zahlreichen Variablen. Die einzige Möglichkeit, die Optimierung zu erreichen, ist, praktikable Kombinationen der Variablen zu finden:

a) Ausgangspunkt war die angestrebte Größe der Einheiten. Ausgehend von der kleinsten annehmbaren Fläche für die Aufnahmeeinheit (400 m^2) kann die Größe variiert werden, um eine vollständige Übersicht der Variation der Kosten zu gewinnen. Die Größe variiert dann immer um 400 m^2 ansteigend- zwischen 400 m^2 und 4.800 m^2 .

- b) Die Variation der durchschnittlichen Kosten für die Messung der Einheiten C_2 kann nach den Erfahrungen im Amazonasgebiet ausgedrückt werden:

$$C_2 = \frac{C_{21} \cdot A}{2500} \quad (26.39)$$

wobei: C_{21} = der kleinste und größte Wert für eine Fläche von 2.500 m².

- c) Ausgehend von den in Tab.266 gegebenen Werten kann eine Funktion zwischen dem Korrelationskoeffizienten und der Größe der Elemente ausgeglichen werden. Die Funktionsform bei Berücksichtigung des Gesamtvolumens pro Einheit ist eine Parabel 2. Grades:

$$\delta = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 A^2 \quad (26.40)$$

Nach der Methode der kleinsten Quadrate ergibt sich:

$$\delta = 0,0205 + 0,4751 \cdot A - 0,1178 A^2 \quad (26.41)$$

$$R^2 = 0,93$$

$$s_{y \cdot x} = 0,1396$$

Die graphische Darstellung ist aus Abb. 26.11 ersichtlich.

- d) die Variation des Kostenquotienten R wurde durch Schätzung der pro Tag erreichbaren tatsächlichen Arbeit ermittelt. Es wurde die Möglichkeit, eine oder zwei Gruppen pro Arbeitstag aufzunehmen, unterstellt. Eine Aufnahme von mehr als 2 Gruppen pro Tag ist unter den gegebenen Umständen und bei einer Arbeitszeit von 8 Stunden täglich unmöglich.

Die effektive Arbeit pro Tag kann berechnet werden durch die Formel:

$$S_{T_2} = \frac{A \cdot M \cdot n_t}{E_s} \quad (26.42)$$

wobei:

n_t = Anzahl der aufgenommenen Gruppen pro Tag

S_{T_2} = die effektive Zeit für die an einem Tag durchgeführten Messungen.

Die Zeit für die Wegstrecke resultiert nach Abzug der Zeit für die Messungen

$$S_{T_1} = 8 - S_{T_2} \quad (26.43)$$

wobei:

S_{T_1} = die nicht mit der Stichprobenarbeit verbundene Zeit.

Die nichtgearbeiteten -aber bezahlten- Stunden pro Tag müssen als fixe Kosten betrachtet werden. Sie werden als Komponenten der Gesamtkosten getrennt berechnet.

Um die Größenvariation von R zu erhalten, wird die - für die Durchführung aller Außenarbeiten n_T erforderliche - Gesamtzahl berechnet. Dieser Wert resultiert aus der Gesamtheit n_2 der notwendigen Gruppen für die Inventur (geschätzt durch Gleichung 26.37). Die Aufnahmeintensität wird berechnet mit einem Fehler von 5% bei einer Sicherheit von 95%.

Der Wert des Korrelationskoeffizienten δ variiert mit der Dichte der Elemente und der Größe der Einheiten in der Gruppe (s.26.41).

Diese - aus der Literatur bekannte- Funktion kann mit einer Exponentialform ausgeglichen werden:

$$\delta = f(M) = aM^b \quad (\text{HANSEN et al. 1953}) \quad (26.44)$$

Bei fehlenden Grundinformationen können die Werte für δ nur als Funktion der Fläche (aus Gleichung 26.41) berechnet werden:

$$\delta = 0,0205 + 0,4751 \cdot A - 0,1178 A^2$$

Die Variation von δ ist in Tab.267 dargestellt.

Da:

$$n_T = \frac{n_2}{nt} \quad (26.45)$$

werden von diesem Gesamtergebnis die nichtgearbeiteten Tage (Sonntage, Ferientage, ev.Regentage) = 22% in Abzug gebracht.

$$S_{hT_1} = S_{T_1} \cdot n_T \cdot 1,22 \quad (26.46)$$

Die effektiv gearbeitete Gesamtzeit ist:

$$S_{hT_2} = S_{T_2} \cdot n_T$$

Der Quotient der Kosten R ist durch:

Tabelle 267 Variation des Koeffizienten verwendet bei der Optimierungsberechnung

Fläche in m ²					
400	800	1200	2400	4800	
0,14	0,06	0,08	0,13	0,22	δ

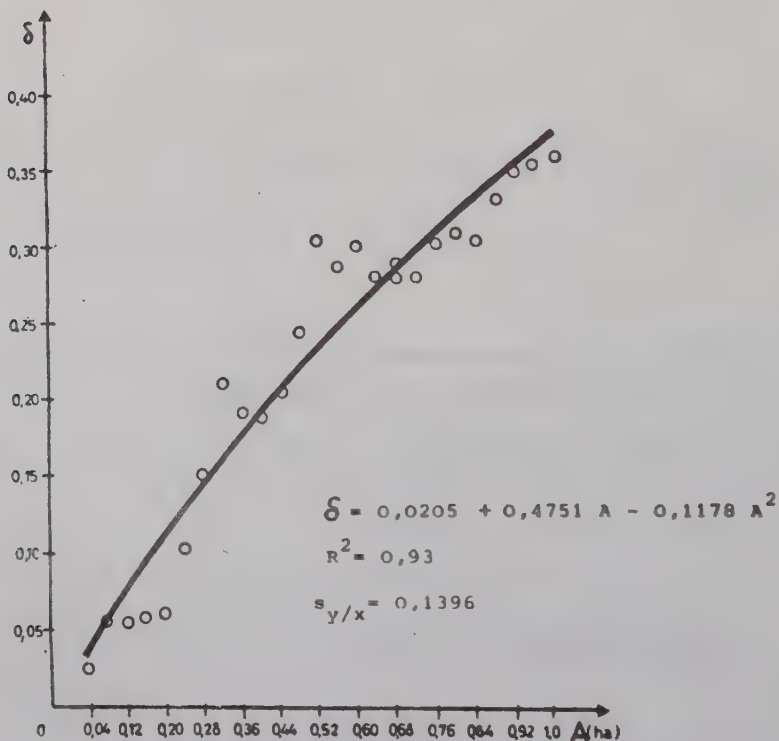


Abb. 26.11 Beziehung zwischen dem Korrelationskoeffizienten und der Größe der Aufnahmeeinheiten in der Gruppe

$$R = \frac{\frac{s_{hT_1}}{n_2}}{\frac{s_{hT_2}}{n_2 \cdot M}} = \frac{\frac{s_{T_1} \cdot nT \cdot 1,22}{s_{T_2} \cdot nT}}{\frac{s_{T_1} \cdot 1,22 \cdot M}{s_{T_2} \cdot M}} = \frac{s_{T_1} \cdot 1,22 \cdot M}{s_{T_2} \cdot M} \quad (26.47)$$

bestimmt.

Werden alle diese Gleichungen schrittweise in 26.38 eingeführt, dann ergeben sich brauchbare Resultate für die Messungen von 1 oder 2 Gruppen pro Tag. (Tab.268)

Mit dem maximalen plausiblen Wert von M aus dieser Tabelle ergeben sich die Zeiten pro Tag für eine Arbeitsgruppe bei verschiedenen Größen der Einheiten. Bei gleichbleibender Stichprobenfläche unter Berechnung aller Kombinationen mit verschiedenen Einheiten (ein Vielfaches von vier) resultiert immer eine annehmbare Gruppe.

Die Einheit von 400 m² weist die geringsten Kosten aus. Im Falle von Gruppen mit größeren Einheiten ist die Wegstrecke zwischen ihnen kleiner. Durch Vergrößerung ihrer Anzahl können die Kosten insgesamt kleiner gehalten werden. Diese Alternative kann bis zu einem gewissen Punkt bezweifelt werden. Dies liegt aber daran, daß es keine konkreten Einzelheiten über Arbeitszeitstudien und die Wirksamkeit der Arbeit in verschiedenen großen Einheiten gibt. Einige Einschränkungen in Bezug auf größere Einheiten können gemacht werden:

- 1) Die Kontrolle der Grenzen der Einheiten ist umso schwieriger, je größer die Einheit ist.
- 2) Die Genauigkeit der Flächenbestimmung der Einheiten ist geringer bei größeren Einheiten als bei kleineren.
- 3) Die Wahrscheinlichkeit von Hindernisvorkommen wie z.B. Flußkreuzungen, Sümpfe u.a. ist bei größeren Einheiten größer als bei kleineren. Die Hindernisse wirken sich bei Messungen auf größeren Einheiten intensiver aus.

Daraus kann geschlossen werden, daß die Einheiten von 400 m² zu besseren Entscheidungen für die Organisation dieses Stichprobenverfahrens führen. Die Planung von 2 Gruppen pro Tag ist praktisch bedeutungslos. Theoretisch scheint es rationeller zu sein, statt einer Gruppe zwei zu messen, es ist aber nicht realisierbar. Da der Weg zwischen zwei Gruppen mehr Zeit verlangt, wenn die zu inventarisierende Fläche größer ist, ist die Planung von Gruppen mit geringerer Anzahl von Einheiten zwingend. Dies wirkt sich in einem größeren Korrelationskoeffizienten aus und damit in einer größeren

Tab. 268 Zusammenfassung der Anordnungen von Aufnahmeinheiten verschiedener Größe, die an einem Arbeitstag aufgenommen werden können.

$n_t = 1$

A m ²	(c _v) ²	M _{max}	n _T	n _T · 1.22	R	ST ₂	C ₂		C (DM)	
							min	max	min	max
400	1.01	24	129	157	9.76	6.00	2.88	3.84	12.569	16.758
800	0.57	12	126	154	4.88	6.00	5.76	7.68	12.266	16.355
1200	0.41	8	128	156	3.26	6.00	8.64	11.52	12.444	16.593
2400	0.23	4	125	153	1.62	6.00	17.28	23.04	12.150	16.201
4800	0.13	2	127	155	0.82	6.00	34.56	46.08	12.365	16.487

$n_t = 2$

400	1.01	8	129	157	19.52	4.00	2.88	3.84	10.246	13.661
800	0.57	4	135	165	9.76	4.00	5.76	7.68	21.323	28.431
1200	0.41	2	177	216	4.06	3.00	8.64	11.52	18.547	24.729

Stichprobenintensität, größeren Kosten und kleinerer Wirksamkeit des Verfahrens. Die Festlegung auf eine Gruppe pro Tag mit größerer Anzahl von Einheiten zeigt unter diesen Umständen größere Wirksamkeit des Verfahrens. Um die Gesamtzeit für jede Planung der Stichprobe zu schätzen, muß die Leistung pro Stunde E_s für alle Einheiten konstant gehalten werden. Die effektive Gesamtstundenzahl für die Messung von n_2 Einheiten mit je M Elementen wird durch folgende Formel gegeben:

$$S_g = \frac{A \cdot M \cdot n_t}{E_s} + \frac{\sqrt{\frac{A_w}{n_2}} (n_t - 1)}{d} + \frac{D(M-1)}{s} \quad (26.48)$$

oder

$$S_g = S_{T2} + S_{T3} + S_{T4} \quad (26.49)$$

wobei: S_{T2} = Zeit für die Messungen

$$S_{T3} = \frac{E_g(n_t - 1)}{d} = \text{Zeit für die Wegstrecke zwischen 2 Gruppen}$$

E_g = mittlere Entfernung zwischen 2 Gruppen in einer Fläche A_w

d = mögliche Wegstrecke im Wald pro Stunde

S_{T4} = die Zeit für die Wegstrecke zw. den Einheiten d. Gruppe.

D = die Entfernung zwischen den Einheiten in m

S = die Entfernung zwischen den Einheiten in m pro Stunde

Es ist zu beachten, daß bei der Anwendung dieser Gleichung zusätzliche Beobachtungen zur Identifizierung der Baumarten und solche allgemeinen Charakters gemacht werden können.

Um die allgemeine Anwendbarkeit der Gleichung 26.48 zu demonstrieren, sollen als erste Annäherung 3 Schwierigkeitsbedingungen gewählt werden (s. Tab. 269)

Tab. 269 Wirksamkeit der Messungen und zurückgelegten Wegstrecken in den tropischen Wäldern des Amazonasgebietes.

Bedingungen	$E_s \text{ m}^2/\text{Std.}$	$d \text{ km/Std.}$	$S \text{ m/Std.}$
leicht	1400-1800	2 - 3	1000 - 1500
mittel	1000-1399	1 - 2	500 - 999
schwer	600- 999	0,1 - 1	100 - 499

2.624 Optimierung der Entfernung zwischen den Einheiten der Stichprobengruppe

Die Entfernung zwischen den Einheiten der Stichprobengruppe steht in Beziehung zu einigen theoretischen Bedingungen der Gruppenstruktur:

Die Variation des Korrelationskoeffizienten δ in Funktion von der Fläche der Einheiten $\delta = f(A)$ wurde schon in Gleichung (26.41) dargestellt.

Die Zunahme von δ in Funktion von A ist darauf zurückzuführen, daß die Vergrößerung der Varianz zwischen den Gruppen S_e^2 größer ist als die Vergrößerung zwischen der Varianz innerhalb der Gruppen S_1^2 , sodaß die Gesamtvarianz zunimmt. Diese Bedingung ist in Tab. 2610 ersichtlich.

Vom statistischen Gesichtspunkt aus ergibt sich, daß die Vergrößerung der Aufnahmeeinheiten eine Herabsetzung der Wirksamkeit des Gruppenstichprobenverfahrens zur Folge hat. Dies bedeutet, daß die Wirksamkeit größer wird, je kleiner δ ist.

In Tab. 267 ist der Zusammenhang zwischen dem Ergebnis und dem theoretischen Verhalten von δ dargestellt. Es besteht eine umgekehrt proportionale Übereinstimmung zwischen der Größe R und der Größe der Aufnahmeeinheiten. Je größer desto kleiner müssen die Aufnahmeeinheiten sein.

Bei der optimalen Größe von 400 m^2 für die Aufnahmeeinheit erscheint der Annäherungswert von $\delta = 0,04$ für die Wirksamkeit dieses Stichprobenverfahrens sehr günstig.

Aus dem abnehmenden Verlauf der Kurve $\delta = f(D)$ = eine Funktion der Distanz D erhellt, daß die nahegelegenen Aufnahmeeinheiten stärker zusammenhängen als die weiter entfernten.

Der Ausdruck (26.28) besagt bei einer Stichprobengruppe mit M Einheiten von der Größe A folgendes:

Wird die Distanz D bei verschiedenen Wiederholungen der Stichprobe variiert und die Gesamtvarianz bleibt konstant, so nimmt S_1^2 mit größer werdendem D zu, was eine entsprechende Reduktion von S_e^2 mit sich bringt. S_1^2 wird sich um einen Mittelwert stabilisieren, wenn D wächst. Dies führt zu einer Schätzung der Optimaldistanz zwischen den Einheiten.

Ein Experiment kann realisiert werden durch eine optimale Anzahl von M Einheiten à 400 m^2 durch Variation der Zwischenabstände z.B. zwischen 10 m und 500 m . Die Lösung besteht dann in der Ausgleicheung der Funktion $S_1^2 = f(D)$, deren optimaler Wert sich in dem Bereich befindet, in dem diese Funktion zu einer Stabilisierung tendiert.

Tabelle 2610 Verhalten der Varianz und δ in Beziehung zur Flächengröße

A m^2	s^2	s_1^2	s_e^2	δ
400	20.51	19.88	0.64	0.025
800	46.11	42.91	3.25	0.064
1200	92.36	86.81	5.63	0.055
1600	126.65	117.71	9.06	0.065
2000	171.35	158.06	13.49	0.073
2400	198.27	176.52	22.07	0.105
2800	212.60	179.67	33.42	0.150
3200	243.02	190.20	53.61	0.213
3600	285.17	230.80	55.18	0.186
4000	370.70	303.27	68.45	0.177
4400	432.27	338.62	95.06	0.212
4800	471.08	353.96	118.87	0.244
5200	519.02	357.92	163.52	0.306
5600	565.18	399.02	168.65	0.290
6000	659.74	459.44	203.31	0.300
6400	686.28	495.13	194.02	0.274
6800	703.76	504.64	202.10	0.279
7200	728.96	524.19	207.84	0.277
7600	772.39	533.53	242.46	0.305
8000	841.89	572.49	273.44	0.316
8400	908.47	620.47	292.32	0.313
8800	922.65	606.29	321.10	0.339
9200	997.38	640.67	362.06	0.354
9600	1054.76	670.10	390.43	0.361
10000	1149.34	725.87	429.82	0.365

Bei der Auswertung der Daten von QUEIROZ, 1977 als Beispiel für Gruppen von 4 Einheiten à 0,32 ha war es möglich, eine Übersicht der dargestellten Beziehungen zu bekommen (Tab. 2611).

Tab. 2611 Ergebnis der Varianzen in Funktion von der Entfernung zwischen den Elementen der Gruppe.

D m	Gesamtvolumen f. alle Baumarten			Teilvolumen f. eine Baumartengruppe		
	s^2	s_i^2	s_e^2	s^2	s_i^2	s_e^2
10	243,03	190,20	52,82	45,77	32,94	12,83
30	251,62	209,68	41,94	47,82	37,04	10,78
50	278,73	241,16	37,57	60,24	47,77	12,47
70	287,73	246,90	40,83	62,91	44,16	18,75
90	287,49	241,65	45,84	63,77	49,04	14,73
110	296,39	239,78	56,61	66,59	49,13	17,46
130	284,50	232,54	51,96	63,94	49,38	14,56
150	309,93	247,41	62,52	76,48	60,20	16,28
170	282,94	243,13	39,81	74,28	58,32	15,96
190	290,01	232,66	57,37	82,64	64,76	17,88
210	269,53	241,80	21,73	64,72	50,08	14,64
230	273,17	248,66	27,51	61,37	48,55	12,82
250	296,36	267,17	29,19	63,65	52,42	11,23

Die für die Ausgleichung vorgeschlagene Funktion ist eine Hyperbel.

Das Ergebnis für das Gesamtvolumen und für eine Baumartengruppe ist:

a) für das Gesamtvolumen aller Baumarten:

$$s_i^2 = \frac{D}{y_1} = \frac{D}{0,02001 + 0,003923 \cdot D} \quad (26.50)$$

für y_1

$$r^2 = 0,988$$

b) für das Volumen einer Baumartengruppe:

$$s_i^2 = \frac{D}{y_2} = \frac{D}{0,16286 + 0,017978 \cdot D} \quad (26.51)$$

für y_2

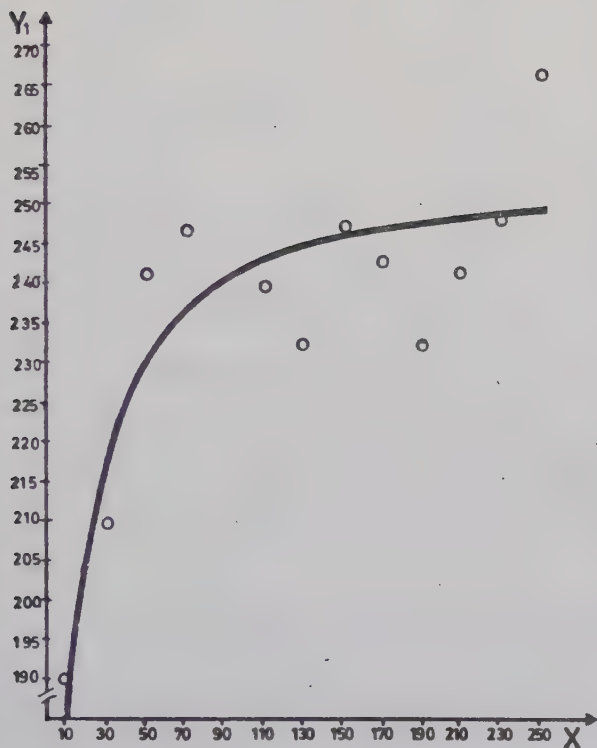
$$r^2 = 0,959$$

Die graphische Darstellung dieser Funktionen ist in den Abb. 2612 und 2613 gegeben.

$$y_1 = s_1^2$$

$$x = D$$

$$y_1 = \frac{x}{0,02001 + 0,003923 x}$$



Ab.. 26.12 Beziehung zwischen der Varianz innerhalb der Gruppen und der Entfernung zwischen den Aufnahmeeinheiten in der Gruppe. Alle Baumarten.

$$y_2 = s_1^2$$

$$x = D$$

$$y_2 = \frac{x}{0,16286 + 0,017978 x}$$

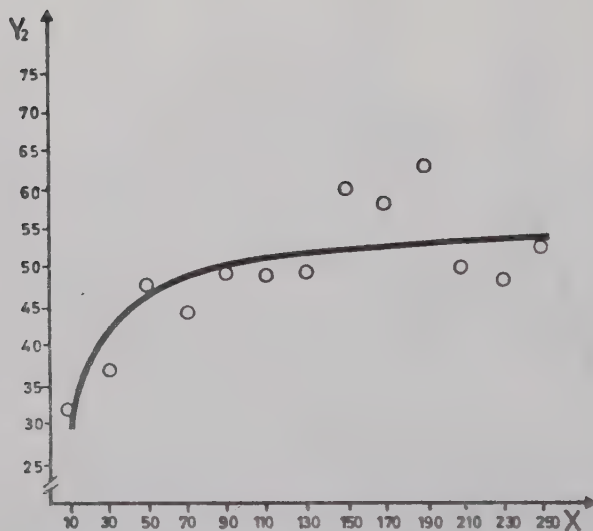


Abb. 26.13 Beziehung zwischen der Varianz innerhalb der Gruppe und der Entfernung zwischen den Aufnahmeeinheiten in der Gruppe. Für eine Baumartengruppe.

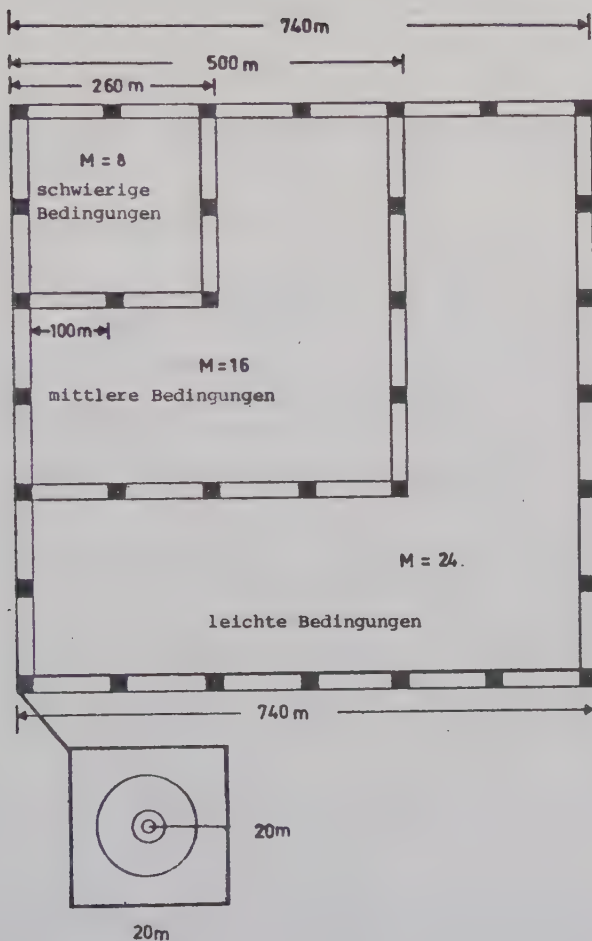
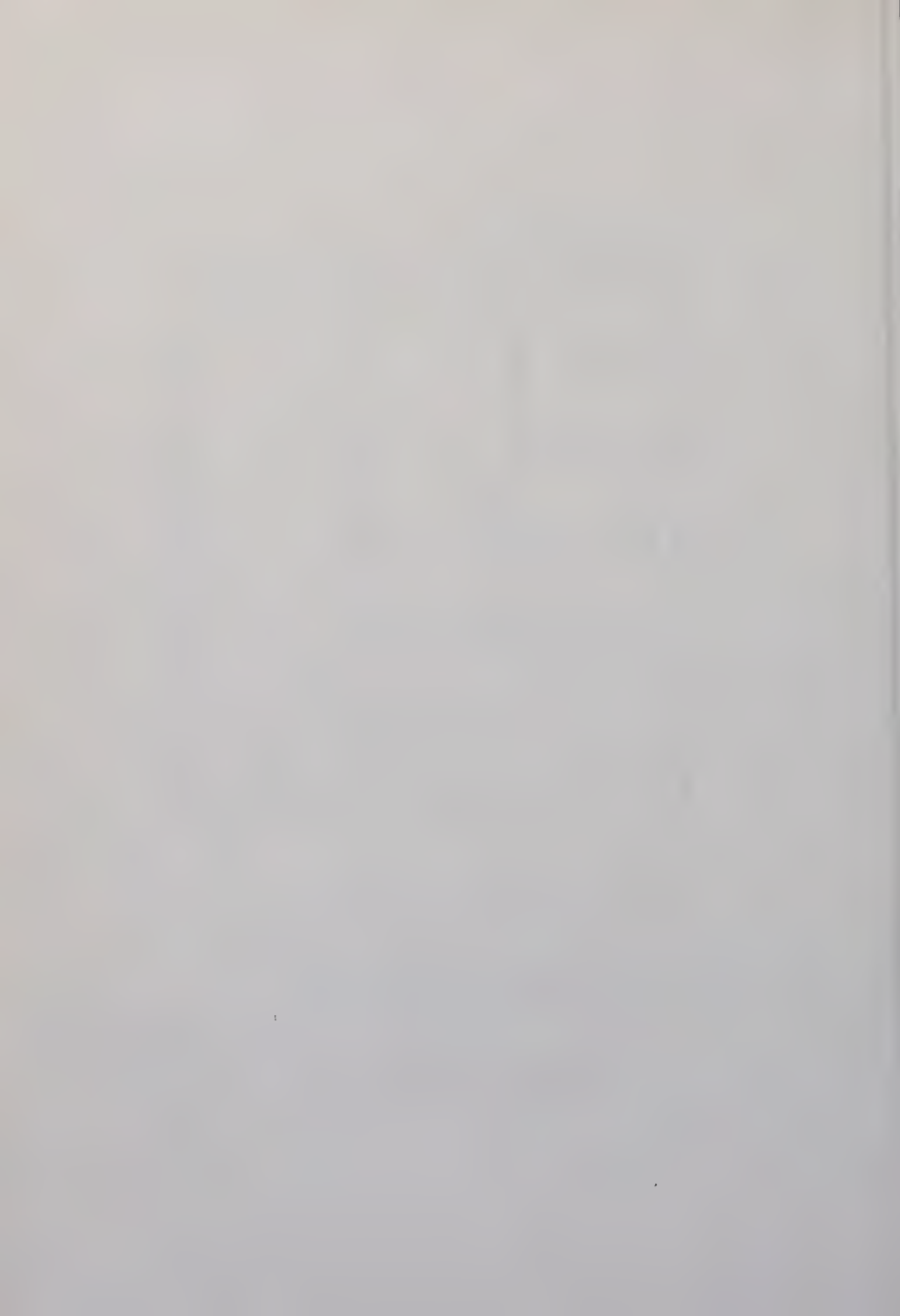


Abb. 26.14 Struktur der optimierten Gruppen bei verschiedenen Erreichbarkeitsbedingungen.



In beiden Fällen ist die Stabilisierungstendenz der Varianz innerhalb der Gruppen von 100 m ab festzustellen. Unter diesen Umständen wird vorgeschlagen, daß bei den künftigen Forstinventuren mit diesem Stichprobenverfahren 100 m Distanz zwischen den Einheiten sein soll.

2.625 Schlußfolgerungen über die Optimierung der Stichprobenstruktur bei dem Gruppenstichprobenverfahren für die Inventur der natürlichen tropischen Wälder.

Die Endergebnisse in diesem Optimierungsprozeß ändern einige - anfänglich angenommenen- Aspekte:

- a) Bei einer mit den geringsten Gruppenaufnahmekosten behafteten Größeneinheit von 400 m^2 ist anzunehmen, daß die Anzahl M der Einheiten größer als 4 ist. Eine - von einem Punkt ausgehende - Radialform verursacht eine Vergrößerung der Wegstrecken zwischen den Einheiten. Die Anlage dieser Einheiten entlang eines Rechteckes könnte die ideale Form der Gruppe sein.
- b) Die Anzahl der Einheiten in der Gruppe wurde als geeignete Größe für einen Arbeitstag bestimmt.
- c) Unter Beachtung der Einschränkungen der Gleichung 26.48 und unter Berücksichtigung der Variation der Größe der zu inventarisierenden Fläche würde eine Gruppe pro Tag festgelegt, wobei die Variation der Zeit S_{T_3} nicht berücksichtigt wird, sodaß die Gleichung 26.48 reduziert wird auf:

$$S_g = S_{T_2} + S_{T_4}$$

die für alle Flächen anwendbar ist.

Die vorgesehene Zeit für die Gesamtheit der Arbeiten ist dementsprechend:

$$S_g = 6,00 + 1,84 = 7,84 \text{ Stunden}$$

- d) Die Anlage der Gruppe ist in Abb. 26.14 gezeigt. Bei nicht zu schwierigem Gelände kann die Gruppe etwa 16 Einheiten umfassen, unter schwierigeren Geländebedingungen dürfte sie 8 Einheiten nicht überschreiten.

Die geschätzten Zeiten für diese beiden Bedingungen sind:

$$S_g = 5,33 + 2 = 7,33 \text{ Std. für mittlere Bedingungen (M=16)}$$

und

$$S_g = 4,00 + 2,33 = 6,33 \text{ Std. für schwierigere Bedingungen (M=8)}$$

e) Die Ergebnisse dieser Optimierung sind praktisch Idealwerte für variable Volumina.

Die Schätzung des Vorkommens von Baumarten in Einheiten von 400 m^2 ist nicht so gut, wie es in den vorhergehenden Ausführungen dargestellt wurde. Die Verteilung der Baumarten kann auf dem ganzen Umfang des Rechteckes sein und nachträglich kann eine Korrelation aufgrund aller Ergebnisse der Einheiten ermittelt werden.

Zur Erfassung der Intensität der natürlichen Verjüngung können die Einheiten des Seitenrechteckes ausgewertet werden. Dazu werden konzentrische Kreise mit folgenden Charakteristiken vorgeschlagen:

1. Für die Stichprobenaufnahme von Bäumen bis zu 5 cm Durchmesser ein Probekreis von 1 m^2 mit einem Radius $r_1 = 0,564 \text{ m}$
2. Für die Erfassung der Bäume mit 5-10 cm Durchmesser ein Probekreis von 10 m^2 mit einem Radius von $r = 1,784 \text{ m}$
3. Für die Aufnahme der Bäume mit Durchmesser zwischen 10 und 30 cm ein Kreis von 100 m^2 mit einem Radius von $r = 5,642 \text{ m}$
4. In den Einheiten werden zuerst die Bäume mit mehr als 30 cm Durchmesser gemessen.

f) Der letzte zu berücksichtigende Faktor ist die Begehrbarkeit und die Erreichbarkeit der Gruppen innerhalb des Waldes. Dazu müssen 3 Möglichkeiten in Betracht gezogen werden:

- 1) durch bereits vorhandene Straßen, Wege und Pfade,
- 2) durch Boote in den Flächen des niederen Amazonasgebietes, dessen hydrographisches System sehr dicht ist (Bäche, Flüsse und Seen).
- 3) In den ausgedehnten Wäldern auf terra firme (trockenere Gebiete ohne irgendeine Erschließung) ist die einzige Möglichkeit die Planung eines Stützpunktsystems. Diese kann erst nach der Kenntnis der Verteilung der aufzunehmenden Gruppen entworfen werden. Von jedem Stützpunkt aus soll eine möglichst große Anzahl von Gruppen innerhalb eines Maximalradius von 5 km erreicht werden. Die Stützpunkte können nicht nach geometrischen, sondern nur nach anderen Bedingungen (wie z.B. fließendes Wasser und andere Einschränkungen für eine gute Stationierung der Arbeitsmannschaft) geplant werden.

Der Transport der Arbeitsmannschaft zu der Kartierungsstelle mit Hubschrauber wäre eine Möglichkeit. Er ist aber zu teuer und das Absetzen des Personals im Wald oft auch sehr gefährlich.

2.63 Die systematische Stichprobe.

Die systematische Stichprobe ist das am längsten bekannte Verfahren bei den Forstinventuren in Europa. PRODAN, 1965 zitiert, daß die Anwendung der systematischen Stichproben ohne mathematisch-statistische Grundlage in Deutschland bis 1783 zurückgeht. In Skandinavien wurde 1830 eine solche Technik von STRÖHM eingeführt (NYSSÖNEN, 1976).

Dieses Verfahren hat entscheidende Vorteile. Die Anlage des Stichprobengitters im Gelände - nach einer vorher gefertigten Karte - ist sehr leicht durchzuführen.

Die Erfahrung vieler Verfasser zeigt, daß die Schätzung des durchschnittlichen Volumens pro ha mit der systematischen Stichprobe mit einem geringeren Fehler behaftet ist, als mit der uneingeschränkten, zufälligen Stichprobe. Dies ist verständlich durch die gleichmäßige Verteilung der Aufnahmeeinheiten auf der ganzen Fläche im Gegensatz zur zufälligen Verteilung.

Ein grundlegender Nachteil ist jedoch, die schwierige Schätzung des tatsächlichen Stichprobenfehlers bzw. der Genauigkeit der Schätzungen.

Wenn dieses Verfahren lediglich für strategische regionale oder nationale Inventuren, bei welchen keine genaue Fehlerermittlung notwendig ist, angewandt wird, dann sind nur die Vorteile dieses Verfahrens maßgebend.

2.631 Statistische Interpretation des Verfahrens.

Dieses Aufnahmeverfahren wird vom Verfasser folgendermaßen interpretiert:

Eine Unterteilung von n Aufnahmeeinheiten in Q Gruppen mit je M Elementen. Sowohl die Gruppen wie die Elemente sind mit einer Entfernung k_1 zwischen den Gruppen und k_2 zwischen den Elementen systematisch verteilt. Diese Konzeption ist in Tab. 26 dargestellt.

Tab. 26. Struktur der systematischen Stichprobe.

Einheiten	Gruppen					
	1	2	3	4	j	Q
1	x_{11}	x_{21}	x_{31}	$x_{41} \dots \dots$	$x_{j1} \dots \dots$	x_{Q1}
2	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}	x_{j2}	x_{Q2}
1	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{j1}	x_{Q1}
M	x_{1M}	x_{2M}	x_{3M}	x_{4M}	x_{jM}	x_{QM}
Durchschn.	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_4$	$\bar{x}_j$	$\bar{x}_Q$

Da die Gruppenstichprobe aus einer Zufallsauswahl von j Gruppen mit M Einheiten aus einer Population von Q Gruppen besteht, gibt es zwischen den beiden Stichprobenverfahren große Ähnlichkeit. Die systematische Stichprobe unterscheidet sich jedoch dadurch, daß die j Gruppen systematisch und nicht nach einem Optimierungskriterium verteilt werden. Wenn bei einer Nationalforstinventur vorher eine Stratifizierung gemacht wurde, kann angenommen werden, daß jedes Stratum schon eine Primäreinheit der Population darstellt.

Die Einteilung in Q Gruppen je M Elementen bildet die Struktur einer Stichprobe in Gruppen mit 2 Stufen. Die erste Stufe wird durch die Q_h Gruppen zwischen jedem Stratum dargestellt und die 2. Stufe wird durch M Elemente der Gruppe gebildet.

Die statistische Formulierung dieses Verfahrens wird in Abschnitt 4 bei der Organisation der Nationalinventur der natürlichen Wälder Brasiliens behandelt.

3.0 Inventurkonzepte für Plantagen.

3.1 Einleitung.

Nach der Einführung der steuerlichen Vorteile für die Aufforstungen sind diese rasch angestiegen (s. Kap. 1).

Die umfangreichen aufgeforsteten Flächen sind charakterisiert durch einige Grundeigenschaften, die für die Planung der Vorratsinventur wichtig sind.

Dies sind:

- a) homogene, aufgeforstete Einheiten als Monokulturen
- b) gleichaltrige Einheiten
- c) Raschwüchsigkeit
- d) intensive Organisation und Einrichtung.

Bei der intensiven Einrichtung haben die Mehrzahl der Forstbetriebe großes Interesse an der periodischen Inventur ihrer Wälder. Einige Forstbetriebe haben auf diesem Gebiet schon eine gewisse Tradition aufzuweisen. Die Anderen haben bis jetzt wenig Erfahrung, weil die Aufforstungen noch so jung sind. (Bestände, die kaum das Alter von 15 Jahren erreichen).

Bei dem raschen Wachstum der Baumarten Pinus und Eukalyptus in den Regionen Südosten und Süden des Landes haben die Betriebe Interesse an einer zuverlässigen Leistungskontrolle des stehenden Vorrates und einer sicheren Schätzung

des Wachstumspotentials auf verschiedenen Standorten. Dadurch können die Einrichtungs- und Nutzungspläne zur Versorgung der verschiedenen Industrien mit Rohstoff aufgestellt werden. Dies bewirkt eine merkliche Bereitschaft zur Realisierung der periodischen Inventuren dieser gepflanzten Wälder.

Die Planung einer Forstinventur unter diesen Bedingungen ist sehr komplex und verlangt gut entwickelte Stichprobenverfahren.

Die wichtigsten Informationen, die gewonnen werden sollen, sind:

- a) Die periodische Ermittlung des stehenden Vorrates auf der Eigentumsfläche (Betriebsfläche)
- b) die Ermittlung der Zustandsveränderungen im Wald während einer Zeitperiode
- c) die Bestimmung anderer wichtiger Parameter für die Zwecke der Einrichtung wie
 - c₁ die Durchmesserverteilung
 - c₂ die Grundflächenverhältnisse
 - c₃ das Verhalten verschiedener Höhenstufen
 - c₄ die Schätzung der Schaftformen
 - c₅ die Schätzung des Zuwachses usw.

Um diese Informationen alle gleichzeitig zu erreichen, ist es notwendig, die Waldpopulation unter verschiedenen Aspekten zu betrachten, wofür ein einziger Stichprobenprozeß nicht ausreicht.

Die Mehrzahl der Forstbetriebe ist auf die Durchführung periodischer Inventuren eingestellt. Dabei wurde das bekannte IFC (Inventario Florestal Continuo = laufende Forstinventur) - als Instrument der Informationsgewinnung zur Ausarbeitung von Forsteinrichtungsplänen - eingeführt.

Eine ausführliche Analyse dieses Stichprobenverfahrens zeigte, daß selten korrekte, tendenzfreie Schätzungen der interessierenden Größen zu bekommen sind. Dies ist auf die andersartige Behandlung der ständigen Probeflächen im Vergleich zu den übrigen Waldflächen zurückzuführen.

Eine - auf die ganze Population verteilte - uneingeschränkte, zufällige Stichprobe ist viel teurer als eine eingeschränkte Verteilung nach einer vorhergehenden Stratifizierung. Die Differenzen der Masse zwischen den verschiedenen Altersklassen sind so groß, daß eine vorherige Stratifizierung die Stichprobenintensität entscheidend reduzieren kann. Die Stratifikation ist leicht durchführbar, da die Aufforstungen klare Abgrenzungen der Strata ermöglichen.

Die bisherigen Erfahrungen von bereits durchgeführten Inventuren zeigen, daß die Eukalyptus- und Pinus-Bestände jährliche Zuwächse von ca. 40 cbm/J/ha bzw. 30 cbm/J/ha erreichen. Daraus resultiert, daß die volumetrische Differenz durch die Stratifizierung nach Altersstufen erfasst und mit anderen Variablen X korreliert werden kann (z.B. der stehende Holzvorrat pro ha).

Die vielfältigen europäischen Erfahrungen haben sich immer nach den Erfordernissen einer intensiven Planung der forstlichen Produktion gerichtet. PRODAN, 1958 formulierte die mathematisch-statistischen Grundsätze bei der Inventarisierung der Bestände einer Planungseinheit. Dabei wird die Bedeutung des anzuwendenden Stichprobenverfahrens zur Schätzung der Entwicklung und des Wachstums der Bestände hervorgehoben (dynamische Planung in d. Forsteinrichtung).

Bei den brasilianischen Inventuren ist die Information über den stehenden Vorrat von größtem Interesse. Die anderen für die Abfassung der Forsteinrichtungspläne wichtigen - Variablen haben bisher noch keine genügende Berücksichtigung gefunden.

Durch die andersartigen Entwicklungsbedingungen der Bestände in Brasilien sind die Unterschiede zu den europäischen forstlichen Verhältnissen sehr groß. Im allgemeinen bestehen sie in folgenden Punkten:

- a) Die reinen gleichaltrigen Bestände (Monokulturen) weisen eine große Homogenität hinsichtlich aller Variablen auf, was sich bei den jährlichen Inventuren in den Aufforstungseinheiten zeigt.
- b) das schnelle Wachstum verlangt, daß die periodischen Inventuren häufiger wiederholt werden als unter europäischen oder nordamerikanischen Bedingungen.
- c) Das Fehlen von Grundinformationen über das Verhalten verschiedener Merkmale in diesen Wäldern führt zu einer etwas allgemeineren Form der ersten Inventuren.

Diese Inventuren sollen mit zunehmender Kenntnis bei der periodischen Wiederholung nach und nach verbessert und verfeinert werden.

Nachdem der große Vorteil der Stratifizierung allgemein bekannt ist, ist es wichtig, das Vorgehen innerhalb der einzelnen Strata festzulegen. Zur Verringerung des Schätzfehlers ist es notwendig, die signifikanten biologischen Grenzen für das Stichprobenkonzept innerhalb des Stratum festzustellen.

Bei Aufforstungen ist das schnelle Wachstum der Bestände die wichtigste Quelle der Variation. Innerhalb der Bestände gleichen Alters herrscht große Homogenität der Variablen. Die -durch die verschiedenen Standorte bedingte- Variation ist die wichtigste Variable. Es muß analysiert werden, wie groß

die Variation zwischen den zu einem Stratum gehörenden Einheiten ist, weil die Gesamtvarianz durch die Varianz zwischen den Altersstufen und zwischen den Standorten dargestellt wird.

Das Stichprobenverfahren innerhalb der Straten ist zweischichtig.

Die erste Stufe wird gebildet durch die Schlagflächen-die kleinsten Forsteinrichtungseinheiten, deren Größe in jedem Betrieb variiert und

die zweite Stufe durch die Aufnahme innerhalb der Schlagflächen.

Bei verschieden großen Primäreinheiten muß für die erststufige Stichprobe eine Gewichtung eingeführt werden. Dieses Verfahren ist in der Literatur unter der Bezeichnung-Unterstichproben mit verschieden großen Primäreinheiten-bekannt.

Ein anderer Aspekt im Planungskonzept dieser Inventur ist die Periodizität.

Die periodische Inventur wurde in der Literatur schon lange untersucht und als successive Inventur oder Inventur in verschiedenen Zeitpunkten bezeichnet.

Ein wichtiger Punkt dabei ist die Kombination von zwei oder mehreren Inventuren zur Reduzierung der Intensität der Stichprobe bei den nachfolgenden Aufnahmen und der Gesamtkosten der Inventur.

In Brasilien muß - bedingt durch das schnelle Wachstum der aufgeforsteten Baumarten- die periodische Inventur in kürzeren Abständen erfolgen als in Europa oder Nordamerika und infolgedessen fallen etwas höhere Kosten für die Forstbetriebe an.

Die Stichprobenaufnahme in successiven Zeitpunkten führt zu einer größeren Wirksamkeit und kleineren Kosten als mit den konventionellen Methoden. Dies wird erreicht bei der zweiten und den folgenden Inventuren durch Zusammenfassung aller vorherigen Aufnahmen zu einer statistischen Einheit. Dadurch resultiert eine größere Aufnahmeintensität und größere Genauigkeit als bei voneinander unabhängigen Inventuren.

Es können vier Alternativen für die Durchführung von successiven Inventuren unterschieden werden:

a) Unabhängig voneinander successive Inventuren. Die Inventuren werden unabhängig voneinander ausgewertet. Die aufgenommenen Einheiten jeder Inventur sind temporär, also unabhängig voneinander verteilt.

b) Die laufende forstliche Inventur (IFC=Inventario Florestal Continuo).

Bei diesem Inventurtyp werden die Aufnahmeeinheiten bei der ersten Inventur festgelegt und bleiben auch für die nachfolgenden Inventuren. Sie sind charakterisiert durch die sich bei allen späteren Inventuren wiederholenden Messungen.

c) Die multiphasische Inventur mit doppelter Stichprobenerhebung.

Bei diesem Typ fallen die Phasen mit den Inventurzeitpunkten zusammen.

Die erste Inventur ist als erste Phase des Gesamtprozesses zu betrachten und die zweite - später realisierte - Inventur stellt die zweite Phase des Prozesses dar. Bei dieser Inventur werden durch eine zweischichtige Stichprobe, bei welcher die Verbindung zwischen den Phasen durch eine Regressionsfunktion durchgeführt wird, Schätzungen erreicht.

Die zweite Inventur basiert teilweise auf der ersten und wird zum Funktionsausgleich verwendet. Diese Funktion wird zur Schätzung der zweiten Inventur benutzt. Es ergibt sich - mittels des indirekten Schätzverfahrens - dieselbe Aufnahmeintensität wie bei der ersten Inventur.

d) Die multiphasische Stichprobe mit teilweiser Wiederholung.

Bei diesem Inventurtyp besteht die Aufnahme im zweiten Zeitpunkt aus einem bei der ersten Aufnahme schon gemessenen und einem neuen unabhängigen Teil.

Es soll nun das -für die periodische Inventur vorgeschlagene- Stichprobenverfahren anhand der bisherigen Ergebnisse unter brasilianischen Bedingungen besprochen werden.

3.2 Mathematisch-statistisches Konzept für die Inventuren.

3.21 Stratifizierung.

In Kapitel 2 wurde dargelegt, daß die Vorteile der Stratifizierung dann ins Gewicht fallen, wenn die Varianz zwischen den vorher festgelegten Straten signifikant differiert. Zusätzlich sind die Vorteile durch die optimale Verteilung der Stichproben mit ihrer Auswirkung auf die Aufnahmeintensität.

Zu klären sind folgende Fragen:

a) Wieviel Strata sollen in der zu inventarisierenden Population gebildet werden?

b) Wie sollen die Grenzen zwischen den Straten definiert werden?

Diese Fragen sind komplexer Natur. Ihre Beantwortung muß zu einer Minimierung der Fehler und der Kosten führen.

3.211 Anzahl der Strata.

Eine Unterteilung der zu stratifizierenden Gesamtpopulation soll die Varianz innerhalb der Straten im Vergleich zu der Gesamtvarianz der uneingeschränkten zufälligen Stichprobe reduzieren.

Die Vermehrung der Stratenanzahl wird eine Grenze erreichen, wenn sich die Reduktion der Varianz in den Straten stabilisiert und infolgedessen der Quotient Q_L zwischen der durch die Stratifizierung erreichten Genauigkeit und der Genauigkeit der uneingeschränkten Stichprobe gleichbleibt.

Werden mit L die Anzahl der Straten der Gesamtpopulation bezeichnet, so ergibt sich:

$$Q_L = \frac{s_{\bar{x}}^2 \text{ str}}{s_{\bar{x}}^2} \quad (3.1)$$

wobei:

$s_{\bar{x}}^2 \text{ str.}$ = Varianz der Durchschnitte bei der Stratifizierung

und:

$s_{\bar{x}}^2$ = Varianz der Durchschnitte nach der uneingeschränkten, zufälligen Stichprobe

Der Quotient Q_L nimmt bei größer werden von L nach einer Funktion $Q_L = f(L)$ ab. In diesem Fall wird für den Ausgleich eine Hyperbel:

$$Q_L = a + b \frac{1}{L}$$

vorgeschlagen. Da die Kosten linear zur Anzahl der Straten wachsen, soll L nicht größer als bis zu einer merklichen Reduktion von Q_L genommen werden.

Mit den Daten einer 1582 ha großen 1972 aufgeforsteten, 1974, 1975, 1976 und 1977 reinventarisierten Eukalyptusfläche wurde es möglich, eine simulierte Tabelle mit den prognostischen Daten der Durchschnittswerte und der Varianzen bis zum Alter 10 J. aufzustellen. Diese Prognose basiert auf der Projektion der Tendenzen der Durchschnitte innerhalb der Intervalle unter Berücksichtigung der Variation der größten und kleinsten Massen bis zum Alter von 10 Jahren. Die Approximation ermöglicht die Gewinnung von Schätzwerten der Varianzen für die Gesamtheit der Periode durch die Formel:

$$s_h^2 = \frac{(x_{\max} - x_{\min})^2}{36} \quad (3.2)$$

(s. Abb. 3.1)

Dadurch wurden die Möglichkeiten der Stratifizierung und ihre Ergebnisse in Tab. 31 gegeben.

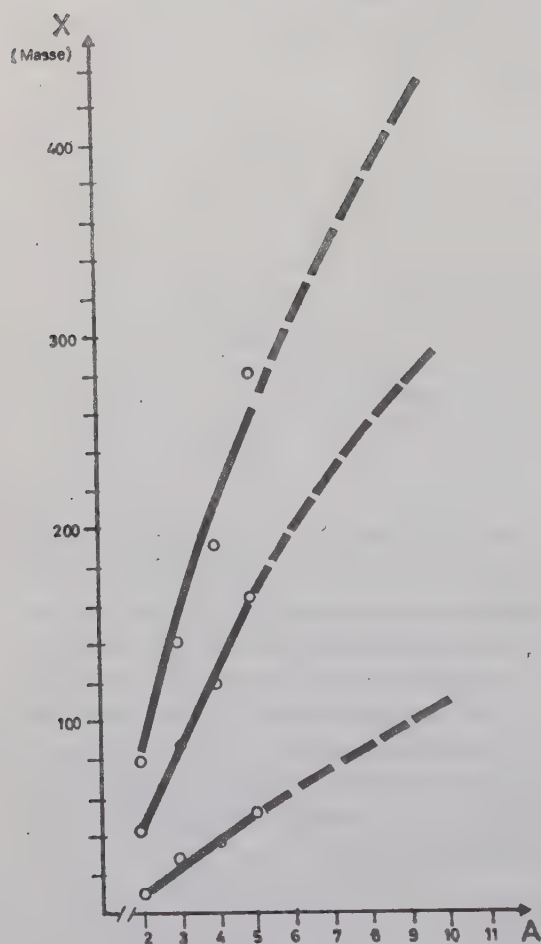
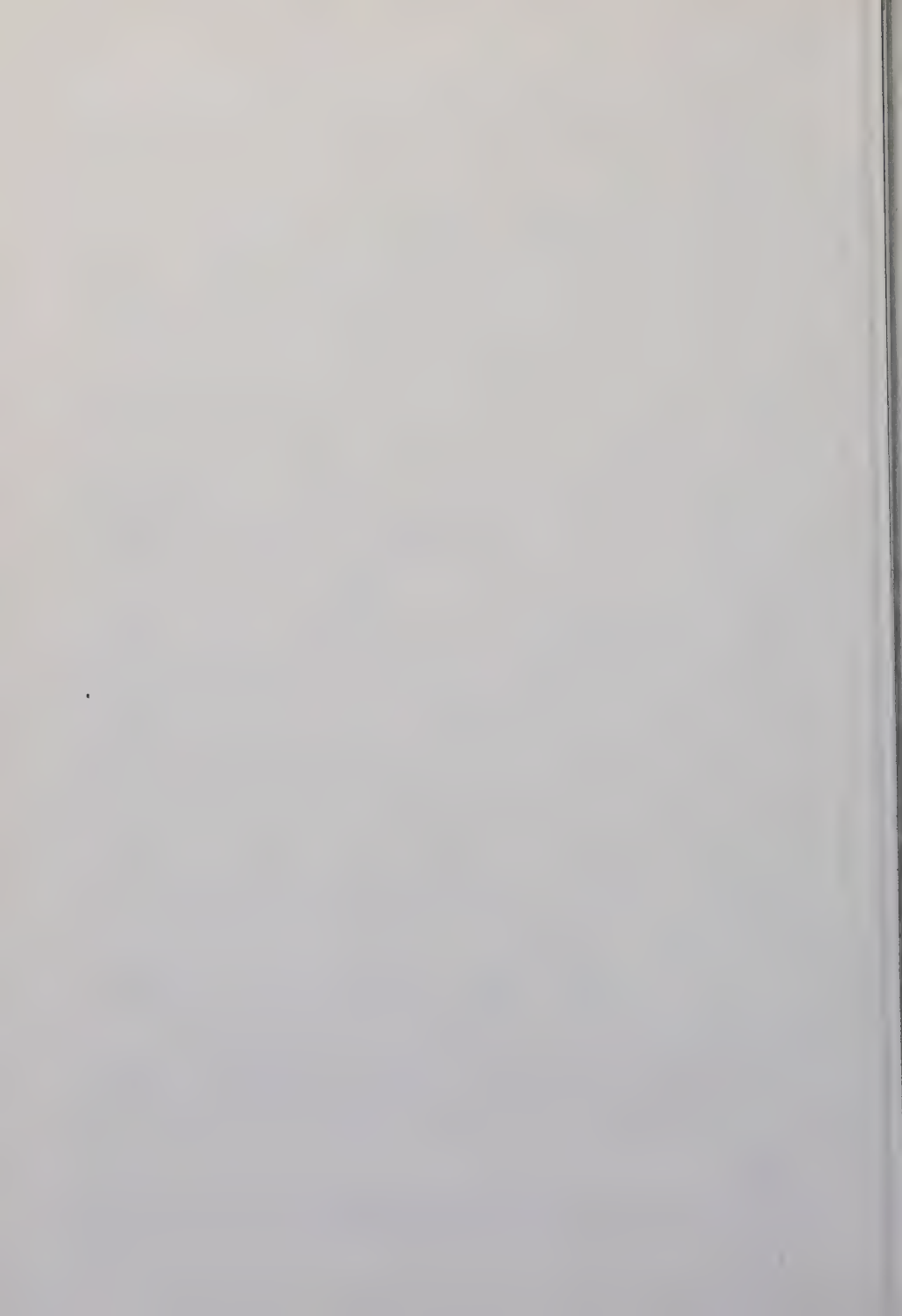


Abb.3.1 Intervalle der stehenden Bestandesmassen in Funktion vom Alter (A) der Eucalyptusarten

Übers. 31 Auswirkung der zunehmenden Stratifikation auf die Varianz der Durchschnittswerte

- 119 a -

L	Schätz- größe	Stratum										Q_L
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	s_x^2 Stratum	
1	A $\bar{x}_2$ s_h^2 n_h	2+3+4+5+ 6+7+8 181.86 5215.25 405	.	-	-	-	-	-	-	-	12.88	1
2	A $\bar{x}_2$ s_h^2 n_h	2+3+4+5 103.01 3105.13 180	6+7+8+9+10 244.20 4011.11 225	-	-	-	-	-	-	-	8.93	0.69
3	A $\bar{x}_2$ s_h^2 n_h	2+3+4 83.91 1903.31 135	5+6+7 192.66 2378.68 135	8+9+10 269.00 3520.44 135	-	-	-	-	-	-	6.32	0.49
4	A $\bar{x}_2$ s_h^2 n_h	2+3 65.28 1053.89 90	4+5 140.75 2311.22 90	6+7 207.00 2177.78 90	8+9+10 269.00 3520.44 135	-	-	-	-	-	5.82	0.45
8	A $\bar{x}_2$ s_h^2 n_h	2 43.14 324.07 45	3 87.43 803.44 45	4 121.15 1537.01 45	5 163.98 1758.68 45	6 192.00 1600.00 45	7 222.00 1995.11 45	8 247.00 2368.44 45	9 270.00 2773.78 45	10 290.00 3136.00 45	4.39	0.34



Die Schätzungen der Parameter sind wirklichkeitsnahe, obwohl die simulierten Conditions in dieser Population nur als Beispiel interpretiert werden. Die Fläche der Strata ist die Summe der jährlich bepflanzten Flächen (1582 ha). Die Stichprobenintensität war konstant mit 45 Einheiten $\pm 300 \text{ m}^2$ pro Jahr und die Verteilung wurde proportional vorgenommen. Folglich:

$$n_h = n \frac{F_h}{F} \quad (3.3)$$

wobei:

F_h = Fläche des Stratoms

F = Gesamtfläche

In dem Beispiel von Tab.31 ist $F = 14238 \text{ ha}$

Wird berücksichtigt, daß der Wald im ersten Jahr nicht gemessen wird, so wird die Population maximal in 9 Straten unterteilt, so daß ein Stratum mit dem Pflanzjahr zusammenfällt. Für die möglichen Kombinationen wurden dann 4,3,2 Straten und schließlich die Gesamtpopulation zum Vergleich herangezogen. Da die Allocation proportional zum Anteil jedes Stratoms genommen wurde, ist die Verteilung der Einheiten:

$$w_h = \frac{N_h}{N} = \frac{n_h}{n} \quad (3.4)$$

Die Anpassung der Funktion $QL = f(L)$ ergibt:

$$Q_1 = 0,2581 + 0,7599 \frac{1}{L}, \quad r^2 = 0,9864 \quad (3.5)$$

(graphische Darstellung in Abb.32)

Das Ergebnis beweist, daß eine Unterteilung der Population in mehr als 10 Straten keine merkliche Reduktion der Varianz der Mittelwerte bringt und bestätigt damit die Ergebnisse der diesbezüglichen Literatur.

COCHRAN, 1963 zeigt ähnliche Konzepte und führt Beispiele anderer Populationen an, deren Ergebnisse den gleichen Verlauf der QL-Kurve zeigen. Er weist auch darauf hin, daß eine Anzahl von mehr als 6 Straten keine fühlbare Reduktion der Varianz des Mittelwertes bringt. Bei etwas konservativer Position kann angenommen werden, daß für eine gepflanzte Population mit allen Produktionsklassen und Altersstufen im Alter von 1 Jahr bis zur Umtriebszeit die Einteilung in 10 Straten die ideale Bedingung für die erste Phase des allgemeinen Stichprobenverfahrens darstellt.

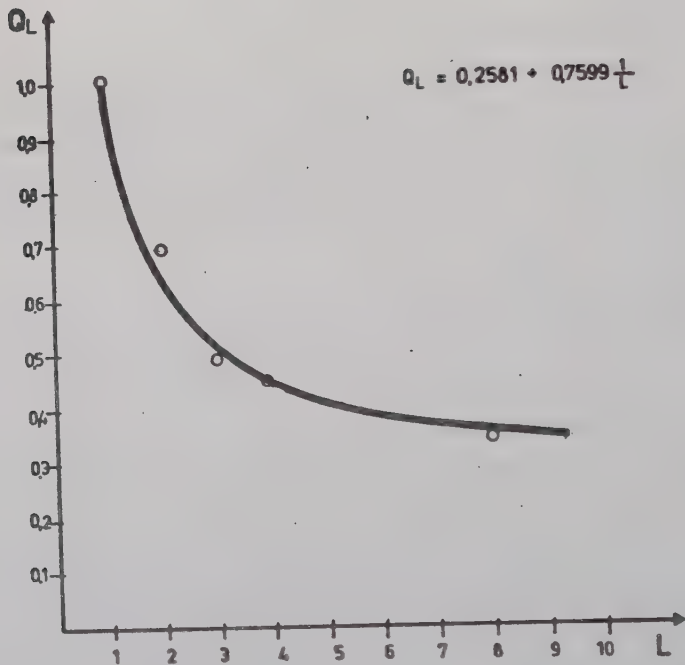


Abb.3.2 Beziehung zwischen der relativen Reduzierung der Varianz der Durchschnittswerte und der Zahl der Strata L

3.212 Die Grenzen der Strata.

Eine wichtige Frage zur Definierung der Anzahl der Straten ist ihre Abgrenzung in der aufzunehmenden Population. Die Grenzen der Straten sollen so definiert werden, daß eine richtige Unterteilung möglich ist.

Der Wachstumsprozeß eines Waldes folgt im Verlaufe seines Lebens einem bestimmten Gesetz mit verschiedenen Intensitäten. So ergibt sich eine ungleichmäßige Abgrenzung der Straten. Eine Unterteilung müßte proportional zur Wachstumsintensität sein. Eine Grundvariable für die Unterteilung wird das Volumen pro Flächeneinheit X_1 sein, das für die Zwecke der Schätzung des stehenden Vorrates das wichtigste Merkmal ist.

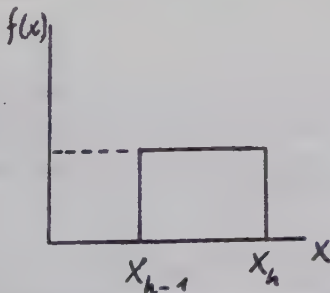
Da keine konkreten Daten über die Produktion der gepflanzten Wälder während einer Umtriebszeit existieren, muß eine theoretische Verteilung $f(x)$ für die Lösung des Problems gewählt werden (Abb. 13).

Einige Aspekte zur Abgrenzung von 2 Straten sollen noch diskutiert werden:

- a) Die Stratifizierung muß allmählich eingeführt werden, da nicht alle Altersklassen vertreten sind.
- b) In jeder gepflanzten Population sollen maximal nur 10 Straten gebildet werden.
- c) Die kleinste Einheit für die Stratifikation müßte die in einem Jahr gepflanzte Fläche sein.
- d) Das Kriterium für die Abgrenzung der Strata müßte der laufende jährliche Zuwachs einer Baumart sein.

Die Konzeption dieser Stratenunterteilung kann wie folgt begründet werden:

- a) Gegeben sei eine Variable X_1 deren Verteilung innerhalb jedes Stratum rechteckig ist.



Dabei wird angenommen, daß innerhalb jedes Stratum nur der Durchschnittswert Bedeutung hat und $f(x)$ eine Frequenzfunktion der Masse ist,

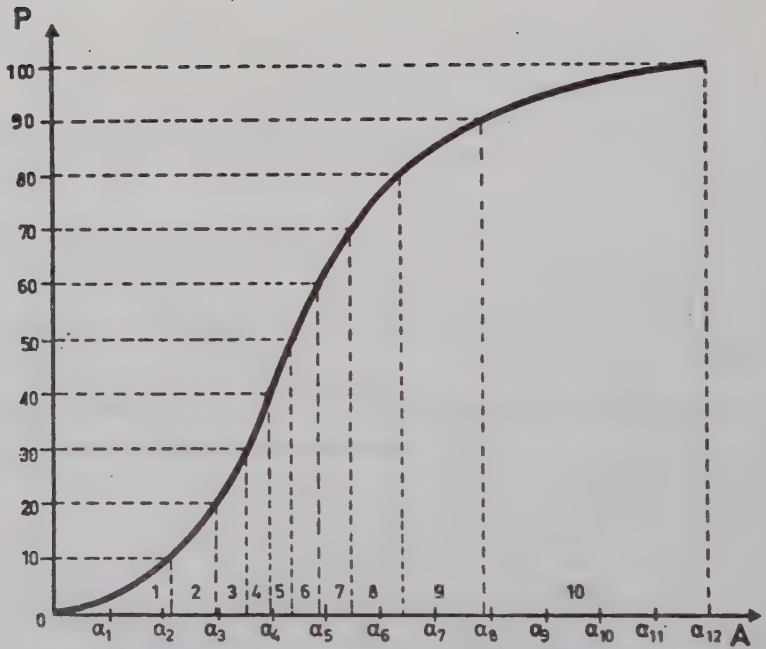


Abb.3.3 Prozentuale zum Zuwachs proportionale Einteilung der Straten.
Die Abb.berücksichtigt 10 Straten.

wobei:

$$f(x) = \frac{1}{(x_h - x_{h-1})} \quad \text{für } x_{h-1} \leq x \leq x_h$$

und:

$$f(x) = 0 \quad \text{für andere Werte von } x$$

b) Aus dieser Verteilung resultiert:

$$E(X) = \int_{x_{h-1}}^{x_h} x \cdot f(x) dx = \int_{x_{h-1}}^{x_h} x \cdot \frac{1}{(x_h - x_{h-1})} dx$$

$$E(X) = \frac{x_h + x_{h-1}}{2} = \mu_x \quad (3.6)$$

μ_x = Durchschnitt von x

$$\sigma_x^2 = E(x^2) - [E(x)]^2 = \frac{1}{x_h - x_{h-1}} \int_{x_{h-1}}^{x_h} x^2 dx - \frac{(x_h + x_{h-1})^2}{4}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{x_h^3 - x_{h-1}^3}{3(x_h - x_{h-1})} - \frac{(x_h + x_{h-1})^2}{4}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{(x_h - x_{h-1})^2}{12} \quad (3.7)$$

Die kleinste Varianz der Durchschnittswerte in der stratifizierten Stichprobe unter proportionaler Einteilung ist:

$$s_{\bar{x}}^2 \text{ str.} = \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{h=1}^L w_h s_h \right)^2 - \frac{1}{N} \sum_{h=1}^L w_h s_h^2$$

Das 2. Glied dieser Gleichung ist der Korrekturfaktor für endliche Populationen und kann vernachlässigt werden.

Das 1. Glied wird ein Minimum darstellen, wenn:

$$\sum_{h=1}^L w_h s_h$$

ein Minimum wird, was zur Lösung des Problems führt.

c) Bei der Konzeption der Stichprobenerhebung mit einer rechteckigen Verteilung ist:

$$w_h = \int_{x_{h-1}}^{x_h} f(x) dx \doteq f_h (x_h - x_{h-1}) \quad (3.8)$$

wobei:

f_h = ein konstanter Wert der Funktion $f(x)$ für das Stratum h .

Da die Population in 10 Straten verteilt wurde, ist folglich:

$$f_h = \frac{1}{10} f(x)$$

und:

$$w_h \doteq f_h (x_h - x_{h-1})$$

$$w_h = \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{(x_h - x_{h-1})} (x_h - x_{h-1}) = \frac{1}{10}$$

Wird w_h in % ausgedrückt, so ist:

$$w_h = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10\%$$

Die Abweichung jedes Stratums ist gegeben durch:

$$s_h \doteq \frac{(x_h - x_{h-1})}{\sqrt{12}} \quad (3.9)$$

und folglich:

$$\sum_{h=1}^L w_h s_h \doteq \sum_{h=1}^L \frac{f_h (x_h - x_{h-1})^2}{\sqrt{12}}$$

Um die Minimumskondition auszudrücken:

$$\sqrt{12} \sum_{h=1}^L w_h s_h = \sum_{h=1}^L f_h (x_h - x_{h-1})^2$$

Wird eine zusätzliche Variable Y_h eingesetzt, so daß $Y_h = X_h f_h$ für das Stratifizierungsintervall gilt, dann ergibt sich:

$$\sqrt{12} \sum_{h=1}^L w_h s_h = \sum_{h=1}^L (Y_h - Y_{h-1})^2$$

Da $Y - Y_0$ konstant ist, resultiert als Minimumskondition:

$$\sum_{h=1}^L (Y_h - Y_{h-1})^2$$

die erfüllt ist, wenn $(Y_h - Y_{h-1})$ konstant ist oder die Straten gleich große Volumenintervalle haben.

Daraus folgt, daß $Y(x)$ die Bedingung

$$Y(x) = \int_{x_0}^{x_L} \sqrt{f(x)} dx \quad (3.10)$$

und:

$$Y_h - Y_{h-1} = \int_{x_{h-1}}^{x_h} \sqrt{f(x)} dx \approx \sqrt{f_h} (x_h - x_{h-1})$$

und:

$$(Y_h - Y_{h-1})^2 \approx f_h (x_h - x_{h-1})^2$$

$$\sum_{h=1}^L (Y_h - Y_{h-1})^2 \approx \sum_{h=1}^L f_h (x_h - x_{h-1})^2$$

Dieser theoretische Ansatz wurde von DALENIUS und HODGES, 1959 entwickelt. Die Formel zeigt eine graduell bessere Anlehnung an die laufenden Zuwüchse, so daß die Stratengrenzen durch die kumulativen Folgen der Werte der Funktion $\sqrt{F(x)}$ bestimmt werden.

Da keine Population bekannt ist, die schon die Umtriebszeit erreicht hat, ist auch der Maximalwert von X_L oder Y_L nicht bekannt.

Es wird deshalb vorgeschlagen, ein theoretisches Modell zu untersuchen, um zu einer Stratifikation zu kommen.

Ausgehend von einem geschätzten prognostizierten Wert von X_L und unter der Voraussetzung einer Einteilung der Population in 10 Strata als Ausgangspunkt, (bis zur Umtriebszeit werden kaum 7,8 oder 9 Straten erreicht) kann kein großer Verlust in der Wirksamkeit der Stratifikation festgestellt werden,

Die Größen X_L und Y_L müssen als Volumen der stehenden Masse im Zeitpunkt der Inventur und nicht als Gesamtmassenleistung verstanden werden.

Unter der Annahme einer stehenden Masse von 350 fm pro ha am Ende der Umtriebszeit können die fortschreitenden Grenzen der Strata mit Hilfe der - hier als Beispiel verwendeten - theoretischen Verteilung der Zuwüchse bestimmt werden. Die Differenz zwischen den Straten ist eine Funktion der Zuwachsintensität jeder Baumart.

In den Tabellen 32, 33, 34 und 35 wird die zahlenmäßige Auswertung des Beispiels gegeben. Die Verteilung der Strata wird in Funktion vom Alter dargestellt.

Da von den Aufforstungspopulationen noch keine Informationen über die Entwicklung des Massenzuwachses verfügbar sind, wird vorgeschlagen, die Grenzen der Strata nach und nach durch ein Annäherungsverfahren zu ermitteln. Dazu ist es notwendig, das durchschnittliche Volumen pro ha für die Umtriebszeit zu schätzen. Aus $F(x)$ im Alter A kann dann der annähernde Wert der kumulativen Summe für die Unterteilung der Strata wie folgt berechnet werden:

$$\text{Cum}_{(u)} \sqrt{f(x)} = \sqrt{F(x)_u \cdot A_u} \quad (3.11)$$

wobei:

$\text{Cum}_{(u)}$ = Wert der kumulativen Summe am Ende d. Umtriebszeit

$F(x)_u$ = kumulative Masse d. bleibenden Bestandes am Ende der Umtriebszeit

A_u = Umtriebszeitalter

Tabelle 32 Die Bestimmung der Stratengrenzen für die Baumart *Araucaria angustifolia*.

Alter	$F(x)_3$	$f(x)_1$	Cum $f(x)_1$	Stratengrenzen
1	-	-	-	
2	-	-	-	
3	-	-	-	
4	-	-	-	
5	20.00	4.00	2.00	
6	24.00	4.00	4.00	
7	29.00	5.00	6.24	
8	35.00	6.00	8.69	10.50
9	42.00	7.00	11.33	
10	51.00	9.00	14.33	
11	62.00	11.00	17.65	
12	73.00	11.00	20.96	21.00
13	86.00	13.00	24.57	
14	108.00	22.00	29.26	31.50
15	128.00	20.00	33.73	
16	145.00	17.00	37.86	
17	165.00	20.00	42.33	42.00
18	132.00	27.00	46.45	
19	205.00	23.00	51.25	52.50
20	225.00	20.00	55.72	
21	240.00	15.00	59.59	
22	253.00	13.00	63.19	63.00
23	268.00	15.00	67.07	
24	280.00	12.00	70.53	
25	288.00	8.00	73.36	73.50
26	296.00	8.00	76.19	
27	304.00	8.00	79.20	
28	312.00	8.00	81.85	
29	319.00	7.00	84.49	84.00
30	324.00	5.00	86.73	
31	330.00	6.00	89.18	
32	336.00	6.00	91.63	
33	340.00	4.00	93.63	94.50
34	344.00	4.00	95.63	
35	348.00	4.00	97.63	
36	352.00	4.00	99.63	
37	355.00	3.00	101.36	
38	357.00	2.00	102.78	
39	359.00	2.00	104.19	
40	360.00	1.00	105.19	105.00

Tabelle 33 Die Bestimmung der Stratengrenzen für die Baumart Pinus spp.

Alter	$F(x)_2$	$f(x)_2$	Cum $f(x)_2$	Stratengrenzen
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	35.00	8.70	2.94	-
5	54.00	19.00	7.31	8.13
6	78.00	24.00	12.21	16.26
7	108.00	30.00	17.68	
8	144.00	36.00	23.68	24.39
9	190.00	46.00	30.47	32.52
10	220.00	30.00	35.94	
11	244.00	24.00	40.84	40.65
12	264.00	20.00	45.32	
13	278.00	14.00	49.06	48.78
14	288.00	10.00	52.22	
15	298.00	10.00	55.38	56.91
16	306.00	8.00	58.21	
17	314.00	8.00	61.04	
18	320.00	6.00	63.49	
19	325.00	5.00	65.72	65.04
20	330.00	5.00	67.96	
21	334.00	4.00	69.96	
22	338.00	4.00	71.96	
23	341.00	3.00	73.69	73.17
24	343.00	2.00	75.11	
25	346.00	3.00	76.84	
26	348.00	2.00	78.25	
27	349.00	1.00	79.25	
28	350.00	1.00	80.25	
29	351.00	1.00	81.25	
30	352.00	1.00	81.25	81.25

Tabelle 34 Die Bestimmung der Stratengrenzen für die Baumart Eucalyptus spp.

Alter	$F(x)_1$	$f(x)_1$	Cum $f(x)_1$	Stratengrenzen
1	-	-	-	
2	43.14	21.50	4.64	6.58
3	87.43	44.29	11.29	13.18
4	121.15	33.12	17.10	19.76
5	163.98	42.83	23.64	26.35
6	192.00	28.02	28.94	32.94
7	222.00	30.00	34.41	
8	247.00	25.00	39.41	39.53
9	270.00	23.00	44.10	46.12
10	290.00	20.00	48.68	
11	306.00	16.00	52.68	52.70
12	316.00	10.00	55.84	
13	330.00	14.00	59.59	59.29
14	342.00	12.00	63.05	
15	350.00	8.00	65.88	65.88

Tabelle 35 Zusammenfassung der Verteilung der Strata nach Altersklassen.

Stratum	<i>Araucaria angustifolia</i>	<i>Pinus</i> sp.	<i>Eucaliptus</i> sp.
1	1 - 8	1 - 5	1 - 2
2	9 - 12	6	3
3	13 - 14	7 - 8	4
4	15 - 17	9	5
5	18 - 19	10 - 11	6
6	20 - 22	12 - 13	7 - 8
7	23 - 25	14 - 15	9
8	26 - 29	16 - 19	10 - 11
9	30 - 33	20 - 23	12 - 13
10	34 - 40	24 - 30	14 - 15

Die Grenzen der Strata ergeben sich als:

$$x_1 = \frac{\text{Cum}(u) \sqrt{f(x)}}{L} \quad (3.12)$$

und:

$$x_h = x_1 \cdot h \quad (3.13)$$

3.213 Die Analyse nach der Stratifizierung zur Schätzung der Wirksamkeit.

Die Verfahren zur Berechnung der Schätzfunktionen aus den Stichproben werden als bekannt vorausgesetzt und sind in Kapitel 2 in der Literatur aufgezeigt.

Hier sollen in erster Linie einige wichtige Punkte zur Schätzung der Wirksamkeit der Stratifizierung dargestellt werden.

COCHRAN, 1963 zeigt, daß die Stratifizierung wirksam und genauer ist, wenn eine signifikante Differenz zwischen den Mittelwerten und den Varianzen zwischen den definierten Straten besteht.

Dieses Konzept wird bewiesen mit der Ableitung folgender Gleichung:

$$s_{\bar{x} \text{ zuf}}^2 = s_{\text{opt}}^2 + \frac{\sum_{h=1}^L N_h (S_h - \bar{S})^2}{nN} + \frac{\sum_{h=1}^L N_h (\bar{x}_h - \bar{x})^2}{nN} \quad (3.14)$$

wobei: $s_{\bar{x} \text{ opt}}^2$ = die Varianz d. Durchschnittswerte nach der optimalen Verteilung der Stichproben in den Straten

$$\sum_{h=1}^L N_h \frac{(S_h - \bar{S})^2}{nN} = \text{Beitrag der Stratenvarianzdifferenz}$$

$$\sum_{h=1}^L N_h \frac{(\bar{x}_h - \bar{x})^2}{nN} = \text{Beitrag der Differenz zwischen den Durchschnittswerten.}$$

Die Gleichung zeigt, daß - im Vergleich zur uneingeschränkten zufälligen Stichprobe - die Wirksamkeit zunimmt, je größer die Differenz der Varianzen und der Durchschnitte zwischen den Straten ist. Unter diesen Umständen kann eine Schätzung der Wirksamkeit nach der Durchführung der Stichprobe stattfinden, um für nachfolgende Inventuren Schlußfolgerungen zu ermöglichen. Mit der einfachen Varianzanalyse kann die Signifikanz der Differenzen zwischen den Straten festgestellt werden.

Jedes Stratum kann als ein Versuch mit folgenden Hypothesen betrachtet werden:

$$H_0 : u_1 = u_2 = \dots \dots \dots u_L$$

H_1 : wenigstens ein Durchschnittswert unterscheidet sich von den anderen

Eine erwartete Lösung wäre immer die Annahme von H_1

Die spätere Identifizierung der signifikanten Durchschnittswerte und überprüfen durch den Test von TUKÉY oder anderen- ebenso wirksamen-Tests ermöglichen dann die endgültige Gruppierung der Strata, deren Durchschnittswerte sich nicht signifikant unterscheiden.

Der Test für die Homogenität der Varianzen kann ebenso für die Straten angewendet werden. Die Hypothesen sind dann folgende:

$$H_0 : s_1^2 = s_2^2 = \dots \dots \dots s_L^2$$

H_1 : wenigstens eine Varianz ist verschieden.

Solche Hypothesen können mit dem sehr wirksamen Test von BARTLETT überprüft werden. Um Einzelheiten über die Gleichung zwischen verschiedenen Varianzen zu testen, kann der einfache F-Test verwendet werden.

3.22 Zweistufige Stichprobenentnahme mit Primäreinheiten vorbestimmter Größe.

Die Stichprobenentnahme in jedem Stratum entspricht der zweiten Stufe des Systems. Die aufgeforsteten Flächen sind im allgemeinen eingerichtet und stellen die Minmaleinheiten in der Gesamtpopulation dar. Sie sind von unterschiedlicher Größe, werden als Primäreinheiten der Stichprobe innerhalb der Straten ausgewählt und ermöglichen dem Forsteinrichter, sie als kleinste Einheit zu behandeln.

Bei der Schlagflächenwirtschaft muß eine zweite Phase der Stichprobe innerhalb dieser Primäreinheiten durchgeführt werden. Statistisch gesehen handelt es sich um ein zweistufiges Stichprobenverfahren mit Primäreinheiten vorbestimmter Größe. Eine Auswahl kann bei dieser Stichprobe nach verschiedenen Kriterien erfolgen. Ihre Wirksamkeit ist abhängig von der Verteilungsform der Variablen. Zwei Alternativen für die Auswahl sind wie folgt charakterisiert:

- a) Auswahl mit gleicher Wahrscheinlichkeit
- b) Auswahl mit vorgegebenen Wahrscheinlichkeiten.

SUKHATME, 1954, COCHRAN, 1963 und FAO 1973 besprechen ausführlich die Alternativen für die Auswahl innerhalb dieses Stichprobenverfahrens und insbesondere die Auswahl mit vorgegebenen Wahrscheinlichkeiten. Ihre Wirksamkeit erklärt sich durch die Korrelation zwischen einer Variablen X_1 (meist die Holzmasse pro Flächeneinheit) und der Größe der Primäreinheit N_1 .

Es kann angenommen werden, daß je größer die Schlagflächen desto größer auch die Wahrscheinlichkeit der Variation der Standortsbedingungen und infolgedessen auch der Größe X_1 sein wird. Unter diesen Umständen behauptet COCHRAN, daß eine Proportionalitätsbeziehung zwischen $V(\bar{x}_1)$ und N_1^{-g}

existiert. Wenn g kleiner als 1 ist, dann führt die Auswahl mit einer Wahrscheinlichkeit proportional zur Größe zu einer größeren Genauigkeit.

Derselbe Verfasser stellt fest, daß die Bedingung $g < 1$ in den meisten Fällen vorkommt.

Werden diese Bedingungen als gegeben betrachtet, so kann vorgeschlagen werden, daß die Stichprobenauswahl mit Wahrscheinlichkeit proportional zur Größe erfolgen soll (ppg = probabilidade proporcional a uma grandeza)

Es existieren auch andere - von der Auswahl abhängige - Variationen oder Möglichkeiten für die theoretische Formulierung dieses Verfahrens.

So können die Primäreinheiten mit Wiederholung zur leichteren Ableitung der Parameter und ihrer Estimatoren führen als die Auswahl ohne Wiederholung. Außerdem gibt es bei der Unterstichprobe mit und ohne Wiederholung theoretische Alternativen.

SUKHATME stellt fest, daß die theoretische Konzeption für die Auswahl ohne Wiederholung die Varianz zwischen den Primäreinheiten nur sehr unwesentlich beeinflusst und daß die Differenz zwischen den beiden Konzeptionen (mit und ohne Wiederholung) praktisch keine Rolle spielt.

Unter diesen Umständen wird vorgeschlagen, daß die Formel der Alternative mit Wiederholung angewendet werden soll. In der Praxis wird die Auswahl mit Wiederholung durchgeführt, um die Außenarbeiten zu erleichtern.

Eine Illustration dieses Verfahrens ist in Abb. 34 gegeben. Bei der Auswahl nach dem Kriterium (ppg) kann eine Variable Z_1 charakterisiert werden, die die relative Größe der Primäreinheiten im Vergleich zur Gesamtfläche jedes Stratum darstellt:

$$Z_{1h} = \frac{N_{1h}}{N_h} \quad (3.15)$$

wobei: N_{1h} = Anzahl der Elemente innerhalb jeder Primäreinheit im Stratum h
 N_h = Gesamtzahl der Einheiten innerhalb jedes einzelnen Stratum

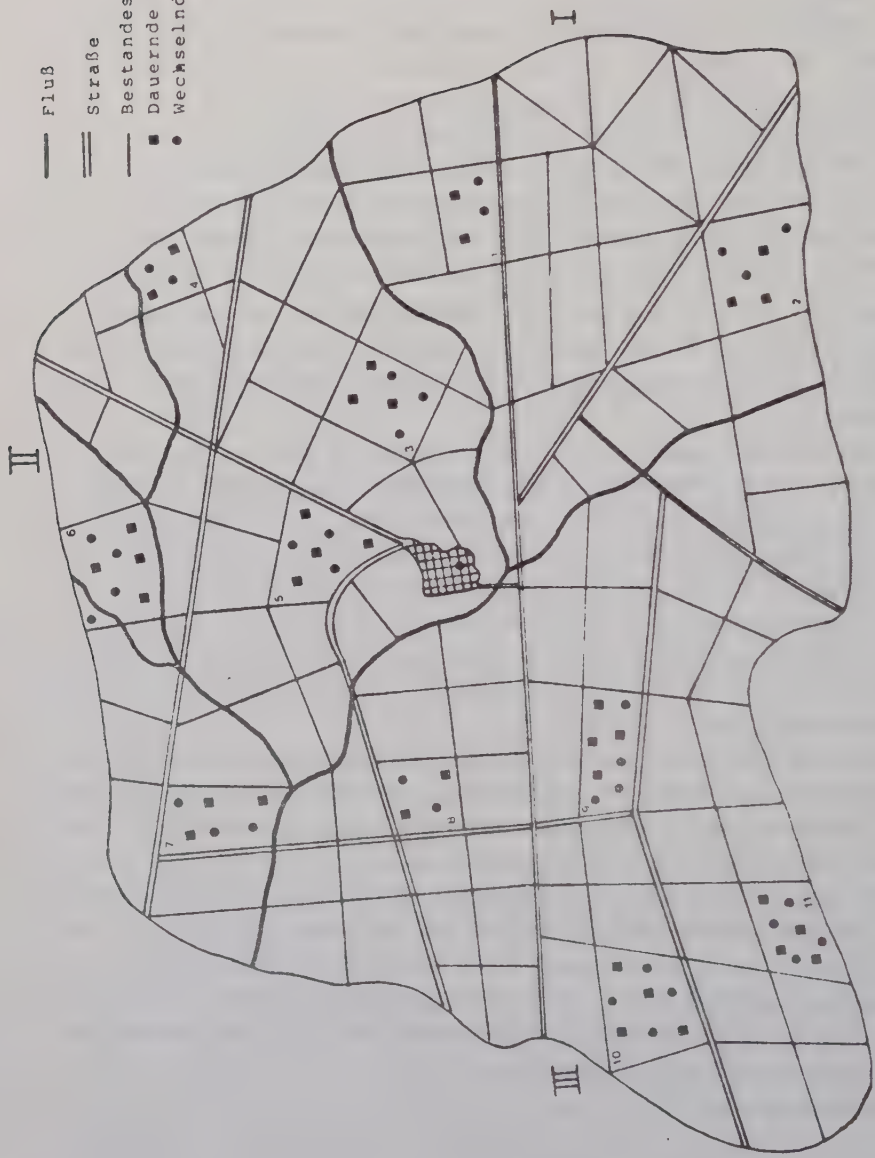


Abb. 3.4 Stichprobekonzept für Plantagen

Wie gezeigt wurde, wird die optimale Verteilung in n_h Einheiten nach dem Kriterium (pp) erreicht. Diese Verteilung kann mit Hilfe einer Liste der Primäreinheiten mit den entsprechenden Größen für N_{ih} erfolgen. Mit der Summenverteilung von N_{ih} ist es möglich, die Intervalle für jede Primäreinheit zu erhalten, deren Variationsbereich durch eine zufällige Auswahl zu einer Allocation nach dem Kriterium (ppg) führt. Für die Durchführung dieser Auswahl kann eine Tabelle von Zufallszahlen entsprechend dem gesamten Variationsbereich verwendet werden.

Für die dritte Stufe, in der das Stichprobenverfahren mit Teilwiederholung durchzuführen ist, muß festgehalten werden, daß in jeder Primäreinheit mindestens 4 Aufnahmeeinheiten anzulegen sind, damit die Varianzen zwischen den ständigen und den einmaligen Einheiten geschätzt werden können. Durch die Einschränkung:

$$n_{ih} \geq 4$$

kann eine Verteilung nach der Methode (ppg) gewählt werden, wenn die Gesamtzahl n_h auf jedem Stratum so verteilt wird, daß:

$$4 \cdot n_h \cdot z_1$$

bei laufenden Aufnahmen so lange bleibt, bis die Gesamtzahl n_h in jedem Stratum erreicht wird.

Die einzige Einschränkung dieser Auswahl ist, daß n -insbesondere, wenn die Gesamtvarianzen nicht bekannt sind- nicht genau bestimmt werden kann. Nachstehend soll ein Beispiel des Auswahlverfahrens innerhalb eines Stratums illustriert werden. Es wird angenommen, daß die Gesamtzahl der Proben auf die Gesamtpopulation bis zur Umtriebszeit (10 Strata) $n = 360$ beträgt.

Übersicht 31a Beispiel der Stichprobenauswahl nach dem Kriterium (PPG)

Primäreinh.	Größe N_{ih}	Auswahl z_1	Reihenfolge d. Auswahl	Summe n_1
1	15	5	3.	26
2	20			
3	30	9	4.	35
4	40			
5	35			
6	18	6	2.	21
7	25			
8	30			
9	45			
10	50	15	1.	15
11	80			
12	30			
Total	418			

$$n = 360$$

$$n_1 = 32$$

$$n_1 \cdot 4 = 128$$

$$n_1 \text{ Ergebnis} = 35$$

$$\text{Einschränkung } n_{11} \geq 4$$

3.221 Bezeichnungen und Definitionen der Parameter und der Estimatoren

Es sei x_{ijh}

charakterisiert als die interessierende Variable in einer Einheit j , lokalisiert innerhalb einer Primäreinheit i im Stratum h . Die Grundbezeichnungen für jede Primäreinheit sollen wie folgt definiert werden:

Variable	Population	Stichprobe
Anzahl d. Einheiten	N_{ih}	n_{ih}
Durchschnitt pro Einheit	$\bar{x}_{ih} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{ih}} x_{ijh}}{N_{ih}}$	$\bar{x}_{ih} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{ih}} x_{ijh}}{n_{ih}}$
insgesamt:	$X_{ih} = N_{ih} \bar{x}_{ih}$	$x_{ih} = n_{ih} \bar{x}_{ih}$

Die Notation für jedes Stratum soll wie folgt definiert werden:

Variable	Population	Stichprobe
Anzahl der Primäreinheiten	T_h	t_h
Anzahl d. Einheiten	$N_h = \sum_{i=1}^{T_h} N_{ih}$	$n_h = \sum_{i=1}^{t_h} n_{ih}$
Intensität d. Stichprobe	$N = \sum_{h=1}^H N_h$	$n = \sum_{h=1}^H n_h$
insgesamt	$X_h = \sum_{i=1}^{N_h} X_{ih}$	$x_h = \sum_{i=1}^{n_h} x_{ih}$

Variable	Population	Stichprobe
Durchschnitt pro Einheit	$\bar{x}_h = \frac{X_h}{N_h}$	$\bar{x}_h = \frac{x_h}{n_h}$
	$\bar{x}_h = \frac{1}{N_h} \sum_{i=1}^{T_h} \sum_{j=1}^{N_{ih}} x_{ijh}$	$\bar{x}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{ih}} x_{ijh}$
Durchschnitt pro Primäreinheit	$\bar{\bar{x}}_h = \frac{X_h}{T_h}$	$\bar{\bar{x}}_h = \frac{\sum_{i=1}^{t_h} x_{ih}}{t_h}$
	$\bar{\bar{x}}_h = \frac{1}{T_h} \sum_{i=1}^{T_h} \sum_{j=1}^{N_{ih}} x_{ijh}$	$\bar{\bar{x}}_h = \frac{1}{t_h} \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{ih}} x_{ijh}$

Wird die Stichprobe nach dem Auswahlverfahren (ppt) durchgeführt, dann können nach COCHRAN, 1977 und SUKHATME 1970 die Estimatoren im Falle der proportionalen Auswahl dargestellt werden bei Aufnahme der Größe Z_i für den tendenzfreien Durchschnitt der Population:

$$\bar{x}'_{(ppg)h} = \frac{1}{t_h N_h} \sum_{i=1}^{t_h} \frac{N_{ih} \bar{x}_{ih}}{Z_{ih}} \quad (3.16)$$

Die Varianz ist gegeben durch die Formel:

$$S^2_{\bar{x}'_{(ppg)h}} = \frac{1}{t_h N_h^2} \sum_{i=1}^{t_h} \left(\frac{x_{ih}}{Z_{ih}} - \bar{x}_h \right)^2 + \frac{1}{t_h N_h^2} \sum_{i=1}^{t_h} \frac{N_{ih}^2}{Z_{ih}} \left(\frac{1}{n_{ih}} - \frac{1}{N_{ih}} \right) S_{ih}^2 \quad (3.17)$$

wobei:

$$S_{ih}^2 = \frac{1}{N_{ih} - 1} \sum_{j=1}^{N_{ih}} (x_{ijh} - \bar{x}_{ih})^2 \quad (3.18)$$

Ist die Stichprobe für die Größe:

$$Z_i = \frac{N_{ih}}{N_h} \quad (3.19)$$

dann wird der Durchschnitt in (3.16) reduziert auf:

$$\bar{x}_{(ppg)h} = \frac{1}{t_h} \sum_{i=1}^{t_h} \bar{x}_{ih} \quad (3.20)$$

und die Varianz reduziert sich auf:

$$S^2_{\bar{x}_{(ppg)h}} = \frac{1}{t_h} \sum_{i=1}^{t_h} \frac{N_{ih}}{N_h} (\bar{x}_{ih} - \bar{x}_h)^2 + \frac{1}{t_h} \sum_{i=1}^{t_h} \frac{N_{ih}}{N_h} \left(\frac{1}{n_{ih}} - \frac{1}{N_{ih}} \right) S_{ih}^2 \quad (3.21)$$

Bei der Stichprobendurchführung in den Primäreinheiten resultiert die Schätzung für die Varianz der Durchschnitte (Stichprobenvarianz):

$$S^2_{\bar{x}_{(ppg)h}} = \frac{1}{t_h (t_h - 1)} \sum_{i=1}^{t_h} (\bar{x}_{ih} - \bar{x}_{(ppg)h})^2 \quad (3.22)$$

Die Ableitung dieser Schätzung s. COCHRAN 1977 und SUKHATME 1970.

3.222 Ausdehnung im Falle der Stratifizierung

Die Endkombination im Falle der Stratifizierung kann direkt abgeleitet werden aus den Stratschätzungen, wobei:

$$N = \sum_{h=1}^L N_h \quad (3.23)$$

Die Schätzung der Durchschnitte infolge der Stratifizierung ist gegeben durch die Formel:

$$\bar{x}_{\text{est}} = \sum_{h=1}^L W_h \bar{x} (ppg)_h \quad (3.24)$$

wobei:

$$W_h = \frac{N_h}{N}$$

Die Stichprobenvarianz resultiert aus der Formel:

$$s_{\bar{x}_{\text{est}}}^2 = \sum_{h=1}^L W_h^2 s_{\bar{x}}^2 (ppg)_h \quad (3.25)$$

Der nächste Schritt besteht in der Verteilung der Stichprobe innerhalb jedes Stratum. Die optimale Verteilung muß angewendet werden und folglich ist:

$$n_h = n \frac{W_h s_h}{\sum_{h=1}^L W_h s_h} \quad (3.26)$$

wobei: π = Gesamtintensität der Stichprobe durch die Spezifizierung des Fehlers und eine Überschreitungswahrscheinlichkeit der Stratifizierung

Die Intensität N_h der Stichprobe wird verteilt nach den bereits erörterten Kriterien.

Zu beachten ist, daß bei der Aufteilung dieser Stichprobe eine Schätzung der Varianz innerhalb jedes Stratum notwendig ist. Die Gesamtvarianz innerhalb jedes Stratum ist - wie schon erwähnt - unterteilt oder zerlegt in die Varianz zwischen den Primäreinheiten und der Unterstichprobe.

Die Summe der Gesamtquadrate kann dann dargestellt werden:

$$(N_h - 1) s_h^2 = \sum_{i=1}^{\bar{I}_h} (N_{ih} - 1) s_{ih}^2 + \sum_{i=1}^{\bar{I}_h} N_{ih} (\bar{x}_{ih} - \bar{x}_h)^2 \quad (3.27)$$

wobei;

wobei:

$$S_h^2 = \frac{1}{N_h - 1} \sum_{i=1}^{T_h} (N_{ih} - 1) s_{ih}^2 + \frac{N_h}{N_h - 1} \sum_{i=1}^{T_h} z_{ih} (\bar{x}_{ih} - \bar{x}_h)^2$$

und:

$$S_h^2 = \frac{1}{N_h - 1} \sum_{i=1}^{T_h} (N_{ih} - 1) s_{ih}^2 + \frac{N_h}{N_h - 1} \left[\sum_{i=1}^{T_h} z_{ih} x_{ih}^2 - \bar{x}_h^2 \right]$$

Um die Endschätzungen von x_{ih}^2 und s_h^2 (s. SUKHATME, 1970) zu bekommen, werden diese in Funktion von $N_{ih} = N_h \cdot z_{ih}$ dargestellt:

$$s_h^2 = \sum_{i=1}^{T_h} z_{ih} s_{ih}^2 + \frac{N_h}{N_h - 1} \left[\sum_{i=1}^{T_h} z_{ih} (\bar{x}_{ih} - \bar{x}_h)^2 - \sum_{i=1}^{T_h} z_{ih} (1 - z_{ih}) \frac{s_{ih}^2}{n_{ih}} \right] \quad (3.28)$$

wobei:

$$\bar{x}_{bh} = \sum_{i=1}^{T_h} z_{ih} \bar{x}_{ih} \quad (3.29)$$

Dies ist ein gewogenes Mittel aller Durchschnittswerte aller Primäreinheiten in jedem Stratum. Dabei sind diese Schätzungen sowohl von

$$\bar{x}_{ih}, \bar{x}_{bh} \quad \text{und} \quad s_h^2$$

vor der Inventur notwendig. Eine Gewichtung kann durch eine vorherige Aufnahme oder durch Pilotuntersuchung erreicht werden.

Zur Erleichterung der Außenaufnahmen und zur Kostenverringering ist es ratsam, solche Aufnahmen mit Hilfe der Winkelzählprobe von BITTERLICH zu machen.

3.223 Untersuchungen innerhalb der Straten.

Ein Vorteil der Planung von Unterstichproben innerhalb der Straten besteht in der Möglichkeit, zusätzliche, nachträgliche Untersuchungen mit den durch die Stichprobenerhebung gewonnenen Daten durchzuführen. So können beispielsweise folgende Größen untersucht werden:

Die bestehenden Variationen zwischen den Primäreinheiten bezüglich verschiedener Variablen, die für die Forsteinrichtung wichtig sind. Außerdem kann der Einfluß des Standortes auf die Produktion, der Einfluß der waldbaulichen Behandlung, des Samenursprungs, der Aufforstungsverfahren usw. festgestellt werden.

Aus der dargestellten Form der Stichprobenerhebung innerhalb der Straten kann - zur Testung der Schätzgrößen die Varianzanalyse für die Unterstichproben angewendet werden.

Das lineare additive Modell für solche Analysen setzt eine Unterstichprobe mit verschiedenen Intensitäten voraus und kann wie folgt definiert werden:

$$x_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} + \delta_{ijk} \quad (3.30)$$

wobei:

μ = der Durchschnitt einer Variablen X pro Baum

τ_i = Auswirkung zwischen den Primäreinheiten innerhalb der Straten

ε_{ij} = Auswirkung zwischen den Elementen innerhalb der Primäreinheiten

δ_{ijk} = die Varianz zwischen den Bäumen innerhalb der Aufnahmeeinheiten.

Dabei kann das Modell mit festen oder zufälligen Einflußgrößen oder mit zufälligen Verteilungen aller Größen vermischt sein. Die Einzelheiten über die Durchführung solcher Modelle kann bei STEEL und TORRIE, 1960 oder anderen Autoren eingesehen werden.

3.23 Periodische Forstinventuren.

Die periodische successive Inventur ist unter dem Namen IFC (Inventario Florestal Continuo) bekannt. Dieses Verfahren wird seit einigen Jahren auch in den älteren Forstbetrieben in Brasilien angewendet.

Neuerdings sind auch andere Alternativen in die Konzeption der laufenden Inventuren aufgenommen worden und diese werden nicht selten in der Literatur unter anderen Bezeichnungen wie z.B. die umlaufende Stichprobe, die Stichprobe durch Zeitserien, oder die Stichprobe in successiven Zeitpunkten beschrieben. Die verschiedenen Stichprobenverfahren unter diesem Aspekt haben eine gemeinsame Basis:

Die gleiche Population wird in verschiedenen Zeitpunkten wieder gemessen und dabei wird die Entwicklung der Population innerhalb eines Zeitraumes festgestellt. Theoretisch sind alle diese Variationen auf die Stichprobenerhebung in verschiedenen Zeitpunkten mit partieller Wiederholung der Einheiten zurückzuführen. JESSEN, 1942 hat dieses Verfahren zuerst bei der periodischen Inventur einer landwirtschaftlichen Population beschrieben. Später wurden verschiedene Beiträge für die Anwendung dieses Verfahrens bei der Forstinventur geliefert.

Vor allem BICKFORD 1956 hat mehrere Beiträge für die theoretische Grundlegung dieses Verfahrens beigesteuert. Die heutige Theorie ist auf die Arbeiten von WARE und CUNIA 1962 zurückzuführen. Die Verfasser haben unabhängig voneinander gearbeitet und ihre Ergebnisse dann in einem gemeinsamen Beitrag in FOREST SCIENCE bekanntgegeben. In der Synthese begründet sich dieses Verfahren auf folgende Bedingungen:

- a) Es wird eine Elastizität eingeführt, indem ein Teil m des Stichprobenumfanges bestehen bleibt und ein Teil von u -Einheiten bei der ersten Aufnahme und k -Einheiten bei der zweiten Aufnahme gemessen werden.
- b) Ein Vorteil dieses Verfahrens besteht in der Tatsache, daß seine Elastizität die Beantwortung verschiedener Probleme, die aus der Formulierung der Inventurziele resultieren, ermöglicht:
 - b_1 Die Schätzung des stehenden Vorrates sowohl bei den ersten Messungen als bei den nachfolgenden wird erreicht, durch eine flexible Stichprobe, die eine Neuordnung der aufgenommenen Einheiten innerhalb der Waldfläche ermöglicht. Dadurch werden etwaige - durch die ständigen Stichproben verursachten- einseitige Tendenzen möglichst klein gehalten.
 - b_2 Die resultierende Regression wird angewendet bei den unabhängigen Stichprobeneinheiten der ersten Aufnahme u und der zweiten Aufnahme k . Dadurch können die Massen dieser Einheiten für die Zeitpunkte, in denen sie nicht direkt bestimmt wurden, geschätzt werden. Dies setzt voraus, daß die Massenschätzungen ebenso wie der Zuwachs und die Veränderungen zwischen den Zeiten abgeleitet werden aus der Gesamtaufnahmeintensität der beiden Aufnahmen ($u + m + k$). Das bewirkt -im Vergleich mit anderen Stichprobenverfahren- eine merkliche Reduzierung des Stichprobenfehlers.
- c) Später hat CUNIA, 1965 die Möglichkeit der Anwendung einer multiplen Regression zwischen den Zeitpunkten durch Einführung der sogenannten Scheinvariablen aufgezeigt. FRAYER, 1966 schlug vor, die Heterogenität der Varianzen zwischen den verschiedenen Zeitpunkten zu analysieren und die gewichtete Regression anzuwenden.. BICKFORD, 1963 schätzte das Kostenproblem und die Genauigkeit gleichzeitig und kam zu dem Schluß, daß dieses Verfahren viel wirksamer ist und viele Vorteile hat gegenüber anderen- unter ähnlichen Bedingungen angewendeten - Verfahren. NEWTON u.a. 1974 haben dieses Konzept bei forstlichen Anwendungen auf drei oder mehrere Aufnahmepunkte ausgedehnt.

Dabei wird die Schätzung etwas komplizierter gestaltet. Eine theoretische Entwicklung im Fall zweier Zeitpunkte scheint aber für die Forstinventur ausreichend. Die praktische Durchführung ist nicht so kompliziert.

- d) RIBEIRO 1978 hat in seiner Masterthesis - unter der Leitung des Verfassers - die erste Untersuchung mit diesem Stichprobenverfahren in Brasilien bei den Aufforstungen mit Pinusarten in PARANA durchgeführt. Seine Dissertation trug dazu bei, Klarheit in die Theorie zu bringen und war durch die analytische Ableitung für die Forstingenieure von großem Nutzen. Sie verglich außerdem die verschiedenen Inventurverfahren und die relativen Wirksamkeiten dieser Verfahren. Seine Schlußfolgerungen trugen dazu bei, das Verfahren ARP (Amostragem com Repetição Parcial) als das - für unsere periodischen Inventuren - günstigste einzuführen.
- e) Später hat BRENA 1979 - auch unter Leitung des Verfassers - die Auswirkungen der Stratifizierung bei der Anwendung des ARP-Verfahrens untersucht. Er versuchte, Kriterien aufzustellen zur Bestimmung des optimalen Zeitintervalls zwischen den beiden Aufnahmen. Eine vorherige Stratifizierung ermöglichte eine merkliche Reduzierung der Fehler und der Kosten.
- f) Ein wichtiger Aspekt dieses Verfahrens ist die Tatsache, daß die meisten für die Forsteinrichtung zu schätzenden Größen durch die laufende Inventur - also durch das ARP-Verfahren - gewonnen werden. Diese müssen so eingebaut werden, daß die Einheiten m beim zweiten Zeitpunkt wie bei allen nachfolgenden wieder gemessen werden. So werden Schätzgrößen bis zur Umtriebszeit gewonnen. Nach CUNIA, 1978 ist es möglich, ein solches Konzept ohne Komplikationen mit dem ARP-Verfahren durchzuführen.

3.231 Bezeichnungen und Estimatoren im ARP-Stichprobenverfahren mit partieller Wiederholung.

Es wird vorausgesetzt, daß bei der ersten Inventur eine eingeschränkte Zufallsstichprobe innerhalb jedes Stratum durchgeführt wurde. Bei der folgenden Inventur werden dann von den n_h aufgenommenen Einheiten der ersten Inventur nur m_h Einheiten wieder gemessen und bleiben bis zum Zeitpunkt des Umtriebes des Bestandes bestehen. Bei jeder nachfolgenden Inventur werden außerdem immer k_h Einheiten erneuert. Wird eine Variable bei der ersten Inventur mit X und bei der zweiten Inventur mit Y bezeichnet, dann ist:

X_{ijmh} die interessierende Variable der i ten Einheit in dem Schlag (j) als ständig aufgenommen (m) in dem Stratum (h) der ersten Inventur.

Analog ist:

$$y_{ijmh} \text{ und } x_{ijuh} \text{ und } y_{ijkh}$$

Die Parameter und Schätzgrößen der Durchschnittswerte und Varianzen werden durch die ständigen und zeitweiligen Einheiten in der gleichen Form zerlegt. Nachdem die Varianzen innerhalb der Primäreinheiten vorrangig sind, werden die Varianzen zwischen den Einheiten nicht dargestellt.

Es soll definiert werden mit $\bar{x}$ der Durchschnittswert der Variablen x für die Primäreinheiten und mit μ_{xh} die Unterstichprobe bei der ersten Inventur. Dann sind $\bar{y}_h$ und μ_{yh} die entsprechenden Werte für die nachfolgende Inventur. Zusätzlich ist D_h die erfolgte Veränderung in der Periode zwischen den beiden Zeitpunkten. Also:

$$D_h = \mu_{xh} - \mu_{yh} \quad (3.31)$$

Zu bemerken ist, daß die Variable D_h definiert wurde in Funktion von den Größen der Unterstichproben, weil die Parameter der relativen Schätzgrößen bezüglich der Primäreinheiten in diesem Fall nicht verwendet werden. Außerdem ist zu beachten, daß der eingeführte Begriff für die Veränderung die einfache Variation zwischen den gemessenen Variablen in 2 Zeitpunkten darstellt. Der Zuwachs C_h schließt die Veränderung der Population während der Periode - wie z.B. Nutzungen, Mortalität oder Katastrophenschäden - ein. Wenn während der Periode keine Bestandesveränderungen entstehen, kann $D_h = C_h$ gesetzt werden.

Da die Aufnahmeintensität in den Straten in ständige und einmalige Straten unterteilt wird, ist es notwendig, noch folgende komplementäre Notationen einzuführen:

$$N_{ih1} = N_{iuh} + N_{imh} \quad \begin{array}{l} \text{Proben innerhalb jeder Primäreinheit} \\ \text{im Zeitpunkt 1} \end{array}$$

$$n_{ih1} = n_{iuh} + n_{imh}$$

$$N_{ih2} = N_{imh} + N_{ikh} \quad \text{im 2. Zeitpunkt}$$

$$n_{ih2} = n_{imh} + n_{ikh}$$

$$N_{h1} = \sum_{i=1}^{T_h} N_{ih1} = N_{uh} + N_{mh} \quad 1. \text{Zeitpunkt}$$

$$n_{h1} = \sum_{i=1}^{t_h} n_{ih1} = n_{uh} + n_{mh}$$

$$N_{h2} = \sum_{i=1}^{T_h} N_{ih2} = N_{mh} + N_{kh} \quad 2. \text{Zeitpunkt}$$

$$n_{h2} = \sum_{i=1}^{t_h} n_{ih2} = n_{mh} + n_{kh}$$

Im folgenden sollen die Estimatoren für die Aufnahme von Stichprobenverfahren dargestellt werden. Um den Formelteil nicht zu sehr auszuweiten, sollen die Notationen für die Parameter weggelassen werden.

a) Durchschnittswerte für die Grundinventur:

$$\bar{x}_{iuh} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{iuh}} x_{ijuh}}{n_{iuh}} \quad (3.32)$$

Schätzung des Mittels pro Element für die Primäreinheit (einmalige Aufnahme)

$$\bar{x}_{uh} = \frac{\sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{iuh}} x_{ijuh}}{t_h} \quad (3.33)$$

Schätzwert des Mittels pro Primäreinheit (einmalige Aufnahme)

$$\bar{x}_{uh} = \frac{1}{n_{uh}} \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{iuh}} x_{ijuh} \quad (3.34)$$

Schätzung des Mittels für die Elemente der einmaligen Aufnahme

Analog:

$$\bar{x}_{imh} = \frac{1}{n_{imh}} \sum_{j=1}^{n_{imh}} x_{ijmh} \quad (3.35)$$

$$\bar{x}_{mh} = \frac{1}{t_h} \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{imh}} x_{ijmh} \quad (3.36)$$

$$\bar{x}_{mh} = \frac{1}{n_{mh}} \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{imh}} x_{ijmh} \quad (3.37)$$

b) Durchschnitte für die nachfolgenden Inventuren

$$\bar{y}_{ikh} = \frac{1}{n_{ikh}} \sum_{j=1}^{n_{ikh}} y_{ijkh} \quad (3.38)$$

$$\bar{y}_{kh} = \frac{1}{t_h} \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{ikh}} y_{ijkh} \quad (3.39)$$

$$\bar{y}_{kh} = \frac{1}{n_{kh}} \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{ikh}} y_{ijkh} \quad (3.40)$$

$$\bar{y}_{imh} = \frac{1}{n_{imh}} \sum_{j=1}^{n_{imh}} y_{ijmh} \quad (3.41)$$

$$\bar{y}_{mh} = \frac{1}{t_h} \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{imh}} y_{ijmh} \quad (3.42)$$

$$\bar{y}_{mh} = \frac{1}{n_{mh}} \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{imh}} y_{ijmh} \quad (3.43)$$

Die unabhängigen Durchschnittswerte für den 1. und den 2. Zeitpunkt können dann wie folgt ermittelt werden:

$$\bar{x}_h = \frac{\sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{iuh}} x_{ijuh} + \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{imh}} x_{ijmh}}{t_h} \quad (3.44)$$

Mittel f.d. Primäreinheit

$$\bar{x}_h = \frac{\sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{iuh}} x_{ijuh} + \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{imh}} x_{ijmh}}{n_{h1}} \quad (3.45)$$

$$\bar{y}_h = \frac{\sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{ikh}} y_{ijkh} + \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{imh}} y_{ijmh}}{t_h} \quad (3.46)$$

$$\bar{y}_h = \frac{\sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{ikh}} y_{ijkh} + \sum_{i=1}^{t_h} \sum_{j=1}^{n_{imh}} y_{ijmh}}{n_{h2}} \quad (3.47)$$

Die Definition der Quotienten der Stichprobeneinheiten ergibt:
Basisinventur:

$$P_{uh} = \frac{n_{uh}}{n_{h1}} = \frac{n_{uh}}{n_{uh} + n_{mh}}$$

$$P_{mh} = \frac{n_{mh}}{n_{h1}} = \frac{n_{mh}}{n_{mh} + n_{kh}}$$

nachfolgende Inventur:

$$Q_{mh} = \frac{n_{mh}}{n_{h2}} = \frac{n_{mh}}{n_{mh} + n_{kh}}$$

$$Q_{kh} = \frac{n_{kh}}{n_{h2}} = \frac{n_{kh}}{n_{kh} + n_{mh}}$$

Werden die Durchschnitte in Funktion dieser Quotienten ausgedrückt so ist:

$$\bar{x}_h = P_{uh} \bar{x}_{uh} + P_{mh} \bar{x}_{mh} \quad (3.48)$$

und:

$$\bar{y}_h = Q_{mh} \bar{y}_{mh} + Q_{kh} \bar{y}_{kh} \quad (3.49)$$

Die Schätzungen der Varianzen innerhalb der Primäreinheiten sind gegeben durch:

a) Basisinventur:

$$s_{xih}^2 = \frac{1}{n_{ih1} - 1} \sum_{j=1}^{n_{ih1}} (x_{ijh} - \bar{x}_{ih})^2 \quad (3.50)$$

$$s_{xiuh}^2 = \frac{1}{n_{iuh} - 1} \sum_{j=1}^{n_{iuh}} (x_{ijuh} - \bar{x}_{iuh})^2 \quad (3.51)$$

$$s_{ximh}^2 = \frac{1}{n_{imh} - 1} \sum_{j=1}^{n_{imh}} (x_{ijmh} - \bar{x}_{imh})^2 \quad (3.52)$$

Es ist zu beachten, daß die Mittelwerte durch Gewichtung für das ganze Stratum berechnet werden, also:

$$\bar{x}_{ih} = p_{iuh} \bar{x}_{iuh} + p_{imh} \bar{x}_{imh} \quad (3.53)$$

b) nachfolgende Inventur:

$$s_{yih}^2 = \frac{1}{n_{ih2} - 1} \sum_{j=1}^{n_{ih2}} (y_{ijh} - \bar{y}_{ih})^2 \quad (3.54)$$

$$s_{yikh}^2 = \frac{1}{n_{ikh} - 1} \sum_{j=1}^{n_{ikh}} (y_{ijkh} - \bar{y}_{ikh})^2 \quad (3.55)$$

$$s_{yimh}^2 = \frac{1}{n_{imh} - 1} \sum_{j=1}^{n_{imh}} (y_{ijmh} - \bar{y}_{imh})^2 \quad (3.56)$$

wobei:

$$\bar{y}_{ih} = p_{ikh} \bar{y}_{ikh} + p_{imh} \bar{y}_{imh} \quad (3.57)$$

Aus der Darstellung ist ersichtlich, daß mit den einfachen Schätzgrößen innerhalb jedes Stratums operiert werden kann. Dabei wird die Verteilung zwischen den ständigen und einmaligen Elementen berücksichtigt. Ebenso können danach alle Schätzgrößen wie in Übersicht 32 dargestellt werden.

Bei der Konzeption des ARP-Verfahrens können die Parameter und ihre Schätzgrößen für jeden Zeitpunkt in einfacher Form summiert und für den ganzen Zeitraum kombiniert werden.

1. Einfache Form der Parameter. Laufende Werte

$$E(\bar{x}_h) = E(\bar{x}_{uh}) = E(\bar{x}_{mh}) = \theta_x \quad (3.58)$$

$$E(\bar{x}_h) = E(\bar{x}_{uh}) = E(\bar{x}_{mh}) = \mu_x \quad (3.59)$$

$$E(\bar{y}_h) = E(\bar{y}_{mh}) = E(\bar{y}_{kh}) = \theta_y \quad (3.60)$$

$$E(\bar{y}_h) = E(\bar{y}_{mh}) = E(\bar{y}_{kh}) = \mu_y \quad (3.61)$$

Tabelle 32 a. Einfache Schätzgrößen verwendet bei der successiven Inventur mit partieller Wiederholung bei Stratifizierung

Zeitpunkt	Population				Stichprobe		
	Mittelwerte			Varianzen	Mittelwerte		Varianzen
	Primär-einheiten	Einheiten		Varianzen Einheiten	Primär-einheiten	Einheiten	
		Stratum	je Primäreinheiten			Stratum	je Primäreinheiten
1. Inventur	$\bar{x}_{uh}$	$\bar{x}_{uh}$	$\bar{x}_{iuh}$	s^2_{xiuh}	$\bar{x}_{uh}$	$\bar{x}_{iuh}$	s^2_{xiuh}
	$\bar{x}_{mh}$	$\bar{x}_{mh}$	$\bar{x}_{imh}$	s^2_{ximh}	$\bar{x}_{mh}$	$\bar{x}_{imh}$	s^2_{ximh}
	$\bar{x}_h$	$\bar{x}_h$	-	s^2_{xih}	$\bar{x}_h$	-	s^2_{xih}
nachf. Aufnahme							
ständige Aufnahme	$\bar{y}_{mh}$	$\bar{y}_{mh}$	$\bar{y}_{imh}$	s^2_{ymh}	$\bar{y}_{mh}$	$\bar{y}_{imh}$	s^2_{yimh}
einmalige Aufnahme	$\bar{y}_{kh}$	$\bar{y}_{kh}$	$\bar{y}_{ikh}$	s^2_{ykh}	$\bar{y}_{kh}$	$\bar{y}_{ikh}$	s^2_{yikh}
Gesamt	$\bar{y}_h$	$\bar{y}_h$	-	s^2_{yih}	$\bar{y}_h$	-	s^2_{yikh}

Die Varianzen der Durchschnittswerte für jedes Stratum bei Vernachlässigung der Korrektur für endliche Populationen sind gegeben durch:

a) Basisinventur:

$$S_{x_{uh}}^2 = \frac{S_{xh}^2}{n_{uh}} \quad (3.62)$$

$$S_{x_{mh}}^2 = \frac{S_{xh}^2}{n_{mh}} \quad (3.63)$$

$$S_{x_h}^2 = \frac{S_{xh}^2}{n_h} \quad (3.64)$$

b) nachfolgende Inventur:

$$S_{y_{kh}}^2 = \frac{S_{yh}^2}{n_{kh}} \quad (3.65)$$

$$S_{y_{mh}}^2 = \frac{S_{yh}^2}{n_{mh}} \quad (3.66)$$

Werte für die Bestandesveränderung und für den Zuwachs:

a) für die Bestandesveränderung:

$$D_h = \mu_{yh} - \mu_{xh}$$

Die Schätzgröße kann auf 3 Arten ermittelt werden:

$$\bar{d}_{mh} = \bar{y}_{mh} - \bar{x}_{mh} \quad (3.67)$$

$$\bar{d}_{ukh} = \bar{y}_{kh} - \bar{x}_{uh} \quad (3.68)$$

$$\bar{d}_h = \bar{y}_h - \bar{x}_h \quad (3.69)$$

Die Varianzen sind gegeben durch:

$$S_{d_{ukh}}^2 = \frac{S_{xh}^2}{n_{uh}} + \frac{S_{yh}^2}{n_{kh}} \quad \text{bei unabhängigen Aufnahmen} \quad (3.70)$$

$$s_{dmh}^2 = \frac{s_{xh}^2 + s_{yh}^2 - 2 s_{xyh}^2}{n_{mh}} \quad (\text{IFC}) \quad (3.71)$$

$$s_{dh}^2 = \frac{s_{xh}^2}{n_{h1}} + \frac{s_{yh}^2}{n_{h2}} - 2 n_{mh} \frac{s_{xyh}^2}{n_{h1} \cdot n_{h2}} \quad (3.72)$$

wobei:

$$s_{xyh}^2 = \text{die Kovarianz zwischen } x \text{ und } y$$

b) für den Zuwachs:

Es ist zu bemerken, daß bei der Registrierung der Durchforstungen, der Mortalität, des Einwuchses, eventueller Katastrophenschäden usw. zwischen zwei Zeitpunkten der Zuwachs durch ständige Probeflächen mit größerer Genauigkeit ermittelt werden kann.

$$c_{mh} = \mu_{ymh} - \mu_{xmh} \quad (3.73)$$

$$c_{mh} = \bar{y}_{mh}' - \bar{x}_h' \quad (3.74)$$

und

$$s_{cmh}^2 = \frac{s_{xh}^2 + s_{yh}^2 - 2 s_{xyh}^2}{n_{mh}} \quad (3.75)$$

wobei die mit Apostroph ' versehenen Ausdrücke die Schätzgrößen für den Zuwachs darstellen.

3.232 Schätzgrößen des ARP-Verfahrens.

Wie schon dargestellt, ist das Stichprobenverfahren mit partieller Wiederholung geeignet, Schätzgrößen aus den Inventuren abzuleiten, indem die Beziehungen zwischen den Stichproben am Anfang (Basisinventur) und den nachfolgenden Inventuren festgestellt werden. Die Schätzgrößen werden ermittelt durch die Gewichtung jeder Schätzung deren Werte so kombiniert werden, daß Schätzungen für jeden Parameter aus der Gesamtheit der Stichproben in zwei Inventuren abgeleitet werden. Die Estimatoren des ARP-Verfahrens werden mit dem Symbol $\hat{\cdot}$ bezeichnet.

a) Durchschnitt und Varianz der Basisinventur:

$$\hat{x}_h = a \bar{x}_{uh} + b \bar{x}_{mh} + c \bar{y}_{mh} + d \bar{y}_{kh} \quad (3.76)$$

Eine tendenzfreie Schätzung von $\bar{x}_h$ muß die Bedingung:

$$E(\bar{x}_h) = \mu_x$$

erfüllen (s.3.59 und 3.61). Aus der Gleichung (3.76) kann erwartet werden, daß wenn :

$$a + b = 1 \quad \text{und} \quad c + d = 0$$

$$a = 1 - b \quad \text{und} \quad c = -d$$

und infolgedessen:

$$\bar{x}_h = (1-b) \bar{x}_{uh} + b \bar{x}_{mh} + c \bar{y}_{mh} - c \bar{y}_{nh} \quad (3.77)$$

Die Varianz der Durchschnitte dieser Schätzung abgeleitet von WARE und CUNIA 1962 beruht auf dem Fehlerfortpflanzungsansatz von CRAMER, wobei:

$$S_{\bar{x}_h}^2 = (1-b)^2 \frac{S_{xh}^2}{n_{uh}} + b^2 \frac{S_{xh}^2}{n_{mh}} + c^2 \frac{S_{yh}^2}{n_{mh}} + c^2 \frac{S_{yh}^2}{n_{kh}} + 2bc\rho \frac{S_{xh} S_{yh}}{n_{mh}} \quad (3.78)$$

wobei:

$$\rho = \frac{S_{xy}}{S_{xh} \cdot S_{yh}} = \text{Korrelation zwischen X und Y in 2 Zeitpunkten} \quad (3.79)$$

Der Minimumswert dieser Varianz wird durch die partielle Ableitung in

$$\text{Bezug auf } b \text{ und } c : \frac{\partial S_{\bar{x}_h}^2}{\partial b} \quad \text{und} \quad \frac{\partial S_{\bar{x}_h}^2}{\partial c}$$

und die Lösung der entsprechenden Gleichungen erhalten:

$$b = \frac{n_{h1} P_{mh}}{n_{h2} - (P_{uh}) n_{kh}} \rho^2 \quad (3.80)$$

$$1-b = \frac{P_{uh} (n_{h2} - n_{kh} \rho^2)}{n_{h2} - (P_{uh}) n_{kh} \rho^2} \quad (3.81)$$

$$c = \frac{-n_{kh} (P_{mh})}{n_{h2} - (P_{uh}) n_{kh} \rho^2} \rho \frac{S_{xh}}{S_{yh}} \quad (3.82)$$

Der Durchschnitt $\bar{x}_h$ kann durch die Ersetzung der verschiedenen Koeffizienten in (3.77) und die Lösung nach den Komponenten der Variablen :

(3.83)

$$\hat{x}_h = \left[\frac{n_{h2} (p_{mh})}{n_{h2} - (p_{uh}) n_{kh} \rho^2} \right] \left[\bar{x}_{mh} + \beta_{x \cdot y} (\bar{y}_h - \bar{y}_{mh}) \right] + \frac{p_{uh} (n_{h2} - n_{kh} \rho^2)}{n_{h2} - (p_{uh}) n_{kh} \rho^2} \bar{x}_{uh}$$

wobei:

$$\beta_{x \cdot y} = \rho \frac{s_x}{s_y} = \text{der Steigungskoeffizient des Ausgleichs } x \text{ und } y$$

Ihre Varianz wird ermittelt durch die Einführung der Koeffizienten in (3.78) und dann durch Umformung:

$$s_{\hat{x}h}^2 = \frac{s_{xh}^2}{n_{h1}} \left(1 - \frac{n_{kh} n_{mh} \rho^2}{n_{h1} n_{h2} - n_{uh} n_{kh} \rho^2} \right) \quad (3.84)$$

Es ist zu beachten, daß das Glied:

$$\frac{s_{xh}^2}{n_{h1}}$$

nicht größer ist als der Stichprobenfehler bei der uneingeschränkten Zufallsmethode. Wie in dem vorgeschlagenen System wird eine zweistufige Stichprobe nach dem Verfahren (ppg) durchgeführt und erbringt Schätzgrößen durch die Einsetzung der Stichprobenvarianz innerhalb jedes Stratum:

$$s_{\hat{x}h}^2 = s_{x(ppg)h}^2 \left(1 - \frac{n_{kh} n_{mh} \rho^2}{n_{h1} n_{h2} - n_{uh} n_{kh} \rho^2} \right) \quad (3.85)$$

b) Durchschnitt und Varianz in der nachfolgenden Inventur

Bei analogem Vorgehen im zweiten Zeitpunkt resultieren die Schätzungen für die nachfolgende Inventur:

(3.86)

$$\hat{y}_h = \frac{n_{mh}}{n_{h2} - (p_{uh}) n_{kh} \rho^2} \left[\bar{y}_{mh} + \beta_{y \cdot x} (\bar{x}_h - \bar{x}_{mh}) \right] + \frac{n_{kh} (1 - p_{uh} \rho^2)}{n_{h2} - (p_{uh}) n_{kh} \rho^2} \bar{y}_{kh}$$

$$s_{\hat{y}h}^2 = \frac{s_{yh}^2}{n_{h2}} \left(1 - \frac{n_{nh} n_{mh} \rho^2}{n_{h1} n_{h2} - n_{uh} n_{kh} \rho^2} \right) \quad (3.87)$$

Wird das Stichprobenverfahren (ppg) verwendet, so ist:

$$s_{\hat{y}h}^2 = s_{y(ppg)h}^2 \left(1 - \frac{n_{uh} n_{mh} \rho^2}{n_{h1} n_{h2} - n_{uh} n_{kh} \rho^2} \right) \quad (3.88)$$

c) Durchschnitt und Varianz der Bestandesveränderung und des Zuwachses.

Für die Schätzgrößen der Veränderungen zwischen zwei Inventuren ergibt sich die Formel:

$$D_h = Y_h - X_h$$

oder die Schätzung:

$$\hat{D}_h = \hat{Y}_h - \hat{X}_h \quad (3.89)$$

und für den Zuwachs:

$$C_h = Y'_h - X'_h$$

oder die Schätzung:

$$\hat{C}_h = \hat{Y}'_h - \hat{X}'_h \quad (3.90)$$

Die Varianzen sind gegeben durch die Formeln:

$$S_{dh}^2 = S_{Xd}^2 + S_{Yd}^2 - 2 S_{XY}^2 \quad (3.91)$$

und:

$$S_{Ch}^2 = S_{Xh}^2 + S_{Yh}^2 - 2 S_{XY}^2 \quad (3.92)$$

wobei:

$$S_{XY}^2 = \frac{n_{mh} S_{xy}^2}{n_{h1} n_{h2} - n_{uh} n_{kh}} \quad (3.93)$$

d) Die Eigenschaften der Schätzgrößen des ARP-Verfahrens.

Es ist zu beachten, daß in allen Gleichungen die Grundkonzeption der laufenden Forstinventur (Inventario Florestal Continuo) IFC besonders durch permanente Probeflächen besteht.

CUNIA und CHEVROU 1969 haben gezeigt, daß die Estimatoren des ARP-Verfahrens nach verschiedenen Stichprobenintensitäten in den zwei Zeitpunkten allen Verfahren kontinuierlicher Inventur entsprechen.

So ergibt sich für $m = 0$ die Inventur von unabhängigen Stichproben in zwei Zeitpunkten.

Bei $n_k = 0$ resultiert das Verfahren der doppelten Stichproben auf Grund der Regression.

Ist $n_u = 0$ und $n_k = 0$ ergibt sich das sogenannte IFC-Verfahren.

LOETSCH und HALLER 1973 stellen eine Synthese der verschiedenen Verfahren dar, die als Varianten der ARP-Methode betrachtet werden können.

e) Andere Estimatoren für die Bestandesveränderung und den Zuwachs.

Ausgehend von dem Hinweis von WARE und CUNIA 1962 hat BRENA 1979 bei der Inventur von gepflanzten Waldbeständen in Brasilien verschiedene Estimatoren der Bestandesveränderung zwischen zwei Zeitpunkten vorgeschlagen. Diese Estimatoren stellen verschiedene Komponenten bei zwei Inventuren dar und sind zum Teil schon in der Literatur bekannt. Sie wurden wie folgt definiert:

1. Formel für die Veränderung ausgehend vom ARP-Verfahren:

$$\bar{d}_{gb} = \bar{x} - \bar{y} \quad (3.94)$$

2. Formel für die Veränderung des Gesamtdurchschnittswertes beim ersten und zweiten Zeitpunkt des ARP-Verfahrens:

$$\bar{d}_{gc} = \bar{y} - \bar{x} \quad (3.95)$$

3. Formel der ständigen (wieder gemessenen) Stichproben:

$$\bar{d}_{gm} = \bar{y}_m - \bar{x}_m \quad (3.96)$$

4. Formel basierend auf unabhängig voneinander genommenen Stichproben:

$$\bar{d}_{gi} = \bar{y}_k - \bar{x}_u \quad (3.97)$$

5. Formel basierend auf den Gesamtdurchschnitten der beiden Zeitpunkte

$$\bar{d}_{go} = \bar{y} - \bar{x} \quad (3.98)$$

6. Formel basierend auf dem Gesamtdurchschnitt des ersten Zeitpunktes und der Schätzung mittels Regression für den zweiten Zeitpunkt:

$$\bar{d}_{gr} = \bar{y}_r - \bar{x} \quad (3.99)$$

7. Formel basierend auf der Gewichtung der ständigen und einmaligen Stichproben:

$$\bar{d}_{gw} = w (\bar{d}_{gi}) + (1-w) (\bar{d}_{gm})$$

BRENA hat diese Formeln angewendet und sie als relative Wirksamkeit ausgedrückt. Die Wirksamkeit wurde abgeleitet durch Division der Varianzen

der Durchschnittswerte der jeweiligen Estimatoren bezogen auf die Varianz der Durchschnitte im ARP-Verfahren. Dabei wurde dieselbe Aufnahmeintensität zugrundegelegt. Die Ergebnisse sind in Übers. 33 gegeben.

Übers. 33a Relative Wirksamkeit der Estimatoren für wiederholte Inventuren mit dem ARP-Verfahren. (g_b)

Schätzgröße	1. Zeitpunkt	2. Zeitpunkt	Zuwachs
g_c	1.47	1.00	2.42
g_m	1.49	1.96	0.33
g_i	1.49	1.38	9.71
g_o	1.47	1.70	1.07
g_r	1.47	1.70	1.07
g_w	-	-	1.00

Eine Interpretation dieser Ergebnisse führt zu folgenden Schlußfolgerungen:

1. Das Verfahren ARP ist zur Gewinnung der Schätzgrößen des ersten und des zweiten Zeitpunktes wirksamer als alle anderen Verfahren.
2. Die Gleichung in Bezug auf die Größe g_c ist darauf zurückzuführen, daß diese Schätzgröße gleich ist mit g_b nach dem zweiten Zeitpunkt.
3. Für die Schätzung des Zuwachses ist die Schätzgröße wirksamer in Verbindung mit den Größen g_c , g_i , g_o und g_r . Die Schätzgröße g_m zeigt sich zur Bestimmung des Zuwachses geeigneter und müßte - sowohl vom statistischen Standpunkt als vom Standpunkt der Reduktion eventueller Tendenzen - vorgezogen werden. Die Schätzgröße g_w gibt, obwohl sie gewichtet ist, die gleiche Genauigkeit der Zuwachsschätzung.

3.233 Zeitintervall zwischen zwei laufenden Inventuren.

Ein wichtiger Aspekt der methodischen Diskussion über die Durchführung von successiven Inventuren ist die Entscheidung der Zeitintervalle zwischen den Inventuren. Sie ist kaum eine statistische Frage, sondern ist eng verbunden mit den Forsteinrichtungszielen eines Forstbetriebes. Die Dauer der Zeitperiode ist außerdem abhängig von der Zuwachsintensität der Bestände. In Brasilien ist der Zuwachs der Baumarten Eukalyptus und Pinus, besonders in den ersten Lebensjahren, sehr hoch. Dies macht eine jährliche Wiederholung der Inventur notwendig. Zur Beantwortung der Frage, ob es richtig ist, die Inventuren mit solcher Intensität zu planen, müßte man Unterlagen haben. Vom statistischen Standpunkt aus ist die Antwort abhängig von der Höhe der

Korrelation zwischen den Meßergebnissen in verschiedenen Zeitpunkten.

Die Korrelation nimmt ab, wenn die Zeitperiode zunimmt. Dies kann in Form einer Funktion ausgedrückt werden $P = f(I)$,

wobei I = das Zeitintervall in Jahren.

Eine Funktion der Form : $P = a + b \frac{1}{I}$ müßte für diese Beziehung

geeignet sein. Eine Entscheidung über die Intervalle zwischen den Inventuren hängt außerdem noch von der Gesamtumtriebszeit und damit wiederum vom Zuwachs ab.

BICKFORD, 1963 bringt Einzelheiten über die Wirksamkeit des ARP-Verfahrens in Verbindung mit den anderen successiven Inventurmethode. Diese Wirksamkeit ist abhängig von der Größe des Korrelationskoeffizienten ρ und also vom Intervall der Inventuren. Als Bedingung müßte $\rho \geq 0,5$ sein.

BRENA, 1979 bringt in seiner Dissertation eine Schätzung dieser Koeffizienten in einer Eukalyptusaufforstung und schließt daraus, daß bei 3 Inventurintervallen der Koeffizient ρ folgende Werte annimmt:

Intervall(I)	ρ
1 Jahr	0,92
2 Jahre	0,93
3 Jahre	0,89

Diese Ergebnisse zeigen, daß für diese Eukalyptusbestände ein Intervall von 3 Jahren vollkommen ausreicht. Für Pinusbestände mit geringerem Zuwachs müßten Perioden von 4 Jahren, für die Baumart Araucaria von 5 Jahren geeignet sein.

4. Die Organisation einer Nationalforstinventur in Brasilien (=Inventário Florestal Nacional = IFN)

4.1. Einführung

In diesem Abschnitt sollen die allgemeinen Aspekte der Organisation der Nationalforstinventur in Brasilien aufgezeigt werden. Die Nationalforstinventur ist eine extensive oder strategische Einrichtung, um Entscheidungsgrundlagen für die allgemeine Planung der Nationalforstpolitik und die Errichtung von Institutionen zu deren Verwirklichung zu gewährleisten. Die Planung einer Nationalforstinventur solchen Ausmaßes in einem Land wie Brasilien ist natürlich eine schwierige Entscheidung. Ihre Notwendigkeit wird aber von Tag zu Tag immer sichtbarer, wenn die Beanspruchung der forstlichen Ressourcen in den letzten Jahren in Betracht gezogen wird. (s.auch Abschnitt 1). Es ist unerlässlich Rückschau zu halten, um zu verstehen, daß die forstlichen Hilfsquellen erforscht werden müssen, nachdem sie in manchen Regionen fast völlig ausgebeutet wurden.

Die Verhältnisse - besonders in den Regionen SÜDEN, SÜDOSTEN und NORDOSTEN von Brasilien- sind in Verbindung mit den wirtschaftspolitischen Bedingungen der in diesen Regionen bestehenden Entwicklungsmodelle zu sehen.

Gründe für die Ausbeutung der natürlichen Wälder sind:

1. Die geschichtliche Evolution der Wirtschaft , die hauptsächlich dadurch zustande gekommen ist, daß die Natur als kostenloses Allgemeingut betrachtet wurde und
2. daß der große Wert der Wälder bis in die jüngste Zeit nicht festgestellt wurde.

KAPP 1971 weist darauf hin, daß die Wälder durch diese Einstellung leicht und skrupellos ausgebeutet werden konnten ohne Rücksicht auf die negativen Folgen für den Menschen. Durch die Einführung des ökonomischen Prinzips des Kostenminimums und des größten Profites entstehen aber die Sozialkosten. Dieses Prinzip hat aus folgenden Gründen sehr großen Druck auf die Wälder Brasiliens ausgeübt:

- a) Die Nationalpolitik hat, um die industrielle Entwicklung des Landes zu beschleunigen, ihre Wirtschaft intensiven Investitionen durch Fremdkapital geöffnet. Diese industrielle Phase bedingt jedoch immer größere Sozialkosten.

- b) Das Modell der landwirtschaftlichen Entwicklung in Brasilien setzt eine ständige Erhöhung der Produktion durch Vergrößerung der gesamtlandwirtschaftlichen Fläche voraus. Dabei wird die Meinung gefördert, daß die landwirtschaftlichen Flächen unbegrenzt und die Wälder ein Hindernis für die landwirtschaftliche Produktionserhöhung darstellen.
- c) Forstliches Handeln wird vom Standpunkt geringerer Rentabilität im Vergleich zu anderen Alternativen - insbesondere der landwirtschaftlichen und viehwirtschaftlichen Nutzungen- gesehen.
- d) Das Entwicklungsmodell in Brasilien geht davon aus, daß die Ökonomie durch die Privatinitiative gesteuert wird. Eine extensive Privatisierung bewirkt aber unvorhergesehene und unerträgliche Konsequenzen für das Umweltgleichgewicht.

Im ersten Kapitel wurden die Auswirkungen dieses Entwicklungsmodells diskutiert. In den Regionen SÜDEN, SÜDOSTEN und NORDOSTEN ist die Waldfläche so stark reduziert, daß unzulässige Konsequenzen für das Umweltgleichgewicht entstanden sind. Dies hat sehr schwere Auswirkungen auf das Ungleichgewicht der hydrologischen Bilanz durch Erosion der Böden, Degradation der Fauna und Flora, Verschlechterung der Lebensmittelproduktion durch die Veränderungen in der Landschaft und die Vergrößerung der Umweltverschmutzung. Alle diese negativen Effekte sind Sozialkosten und wurden durch PABST 1974 sehr gut charakterisiert.

Es wird nun gefragt, wer die Verantwortung für diese Sozialkosten zu tragen hat.

Das Verursacherprinzip (PABST 1974) erklärt den Ursprung und die Grundlagen der Umweltbelastung infolge der ökonomischen Aktivität auf dem land-und forstwirtschaftlichen Sektor.

Eine tiefgehende Analyse der belasteten Flächen ist von großer Bedeutung für die in dem 3. Nationalentwicklungsplan (Plano Nacional de Desenvolvimento) von Brasilien (PND) verankerte Forstpolitik.

Durch das Verursacherprinzip müssen der brasilianischen Bevölkerung schrittweise die Mängel des ökonomischen Modells bewußt werden. Die Zerstörung des Gleichgewichts hat alle Toleranzgrenzen überschritten. Die Auswirkungen der rücksichtslosen wirtschaftlichen Aktionen auf die Natur hat katastrophale Ausmaße erreicht. Große Gebiete im Nordosten von PARANA und Südosten von

MATO GROSSO do SUL wurden durch Erosionen zerstört. Alles vernichtende Hochwasserkatastrophen und ausgedehnte Trockenheitsperioden haben der Landwirtschaft große Schäden gebracht. Die Unregelmäßigkeit der Wasserversorgung hat für Brasilien die Zeit der Umweltprobleme eingeleitet.

SPEIDEL 1978 hat eine Konferenz mit einem historischen Vergleich der Umwelterhaltung in Brasilien und in Europa abgehalten. In dieser Arbeit beschreibt der Verfasser die Grundprobleme der Umwelt im Zusammenhang mit der Entwicklung.

Dann behandelt er politische und juristische Probleme der Umwelterhaltung (Prävention, Ursache und Wirkung und Kooperation), sowie die Probleme der Forschung und der Volksaufklärung.

Im Zusammenhang mit diesen Ideen ist festzustellen, daß in Brasilien - wie auch in anderen Ländern - die Bewegungen zur Erhaltung der Natur und einer gesunden Umwelt an Bedeutung gewinnen.

Die bisherige Ausbeutung und Vernichtung der Wälder zeigt, daß die zukünftige Planung der nationalen Entwicklung nicht nur die Interessen der Wirtschaft sondern auch die Erhaltung der Umwelt in die Entscheidungsprozesse einbauen muß.

Es können folgende Prinzipien des forstlichen Handelns konkretisiert werden (PRODAN, 1977)

1. Das Nachhaltigkeitsprinzip
2. Das Prinzip der Kontinuität
3. Das Prinzip der Dauerhaftigkeit
4. Das Prinzip der Ausdehnungsmöglichkeiten.

Diese Prinzipien führen zu einer Identifizierung der Sozialkosten und ihre Beachtung ist für die Stabilisierung des forstlichen brasilianischen Sektors unerlässlich. PRODAN, 1977 exemplifizierte einige seiner Argumente mit brasilianischen Problemen - insbesondere für das AMAZONAS-Gebiet.

Die Nichtbeachtung des Nachhaltigkeitsprinzips in den meisten geschädigten Regionen des Landes hat zu umfangreichen Sozialkosten geführt. Diese haben der Regierung zu große Ausgaben und Investitionen verursacht.

Eine Teil der Sozialkosten kann durch folgende Investitionen geschätzt werden:

- a) Programm zur Erhaltung des Bodens
- b) Einschränkung der Verschmutzung der Gewässer
- c) Steuerverförderung der Wiederaufforstungen
- d) Bekämpfung der Erosionen
- e) Verhinderung von Verlusten in der Landwirtschaft durch klimatische Unregelmäßigkeiten
- f) Bekämpfung der Schäden und Verluste durch Hochwasser und andere Unregelmäßigkeiten.

Bei der Errichtung eines Entwicklungsplanes für das Gebiet AMAZONAS muß das Nachhaltigkeitsprinzip uneingeschränkt beachtet werden, da in der tropischen Region die Schäden katastrophale Ausmaße ohne Möglichkeit von Reversibilität haben. Die Umweltbedingungen dieser Region dulden keine Landnahme wie in anderen Regionen.

Unter den Bedingungen im Amazonas und den tropischen Wäldern im allgemeinen ist das Prinzip der Erhaltung der Energie - entsprechend dem thermodynamischen Energiegesetz- von außerordentlicher Bedeutung und gewährleistet das Prinzip der Nachhaltigkeit. (PRODAN 1975).

Die Ausbeutung der Waldbestockung in dieser ausgedehnten Region wird ohne Zweifel zu einer Unumkehrbarkeit (Irreversibilität) des Umweltgleichgewichtes und als langfristige realistische Konsequenz zur Wüste und Verarmung der Bevölkerung führen.

Die Versuche der brasilianischen Regierung, eine spezifische Politik für das Amazonasgebiet einzuleiten, wurde durch viele Publikationen unterstrichen. Hervorzuheben sind die Arbeiten von Clara PANDOLFO, 1978, die konkrete Vorschläge für die Errichtung von Produktionswäldern auf 1/7 der Gesamtfläche bringt.

SPEIDEL 1976 schlägt Alternativen für die Möglichkeit der Exploitation der Waldbestockung des AMAZONAS vor. REIS 1979 diskutiert verschiedene realisierbare Entwicklungsmodelle für diese Region. Er schlägt die Errichtung eines Pilotprojektes zur rationellen Ausnutzung des Nationalforstes von TAPAJOS vor. Die Mehrzwecknutzung soll dabei das Nachhaltigkeitsprinzip beachten.

Zu erwähnen ist noch das Dekret Nr.83518 des Präsidenten der Republik v.25.9.1979. Danach soll eine Arbeitsgruppe gemeinsam mit allen im Amazonasgebiet tätigen forstlichen Institutionen - in 120 Tagen Vorschläge für Gesetzesentwürfe zur Formulierung einer Forstpolitik für das brasilianische Amazonasgebiet ausarbeiten.

Das Prinzip der Kontinuität verlangt - um effektiv angewendet werden zu können- eindeutigeren Gesetze als die jetzt existierenden. Dieses Prinzip wird in Brasilien durch das Gesetz der forstlichen Rückerstattung verwirklicht. Die praktische Anwendung erfordert aber eine bessere fiskalische Struktur, die von der Funktionsfähigkeit des IBDF abhängig ist.

Ein anderer Gesetzesaspekt von relativer Dringlichkeit ist die Regulierung der Aufteilung forstlichen Eigentums durch Erbschaft. Das Modell von Deutschland wäre geeignet, das Prinzip der Kontinuität einzuführen.

Das Prinzip der Dauerhaftigkeit ist durch die Grundlage der Forsteinrichtung auf lange Sicht gegeben. Dieses Prinzip wird an Bedeutung gewinnen, wenn die forstlichen Institutionen in Brasilien stärker werden.

Unter brasilianischen Bedingungen, wo die Land- und Viehwirtschaft starken Druck auf die Okkupation der Ländereien für die Produktion ausübt, wurde in manchen Gebieten die Entwaldung sehr beschleunigt. Hier ist die Vergrößerung der produktiven Nationalforste durch die Regierung und ihre Verteilung über das ganze Land die einzige Möglichkeit, das Prinzip der Dauerhaftigkeit zu gewährleisten.

Das Prinzip der Extensibilität setzt eine Wirkung des staatlichen Einflusses auf die forstliche Produktion voraus, die in Brasilien realisiert werden muß.

Das forstliche Problem im ganzen ist aber nicht nur eine Verpflichtung der Federalregierung, der Regierungen der Staaten und der Kommunalverwaltung sondern auch jedes Grundeigentümers im Lande, wenn die Gleichgewichtsfunktion, die durch dieses Prinzip postuliert wird, erreicht werden soll. Die Verantwortung muß von allen Beteiligten anerkannt und zwischen allen Beteiligten aufgeteilt werden.

Zunächst kann a priori angenommen werden, daß in jeder Region etwa ein Minimum von 30% der Fläche von Wald bedeckt sein muß, Im AMAZONAS-Gebiet muß - entsprechend den ökologischen Bedingungen - das Prozentminimum 50 betragen. Die legalen politischen und exekutiven Institutionen müssen von dieser Zielsetzung orientiert werden und müssen diese von PRODAN postulierten Prinzipien innerhalb der Grundkonzeption anerkennen. Das Instrument zur Erreichung dieser Vorstellung ist durch die Institution der Nationalforstinventur in Brasilien gegeben.

4.2 Die Formulierung der Ziele des IFN in Brasilien

Bei der Planung des IFN müssen alle Erfahrungen berücksichtigt werden, die bei den bisherigen Inventuren gewonnen wurden und auch andere Informationen bis zu diesem Zeitpunkt zusammengefaßt werden. Zusätzlich kann eine Synthese der Erfahrungen der Forscher verschiedener Länder, die

schon an einer Nationalforstinventur gearbeitet haben, die Auswahl der Ziele noch akzentuieren. Eine Übersicht über die Erfahrung der wichtigsten Länder mit Nationalforstinventuren wurde in Bukarest 1978 in einem Symposium von der IUFRO gegeben.

Eine Synthese der Formulierung von Zielen wurde besonders von CUNIA 1978; SINGH 1978, ZÖHRER 1978, und HUSCH 1978 vorgetragen.

Diese Darlegungen und die Erfahrungen des Verfassers können wie folgt formuliert werden:

a) Schätzung der Veränderungen in der räumlichen Verteilung der Wälder.

Nach der intensiven Veränderung und der in den letzten Jahren in den forstlichen Gebieten Brasiliens erfolgten Entwaldung muß die Regierung diese Lage erfassen und die Einflüsse und Auswirkungen auf die Umwelt im allgemeinen registrieren. Dazu müssen alle Punkte zur Schätzung der Fläche berücksichtigt werden, wie:

a₁ Existente forstliche Flächen und ihre Ortung

a₂ Landwirtschaftlich genutzte Flächen

a₃ Viehwirtschaftlich genutzte Flächen

a₄ Flächen ohne bestimmte Nutzung

a₅ Infolge der Entwaldung degradierte Flächen

a₆ Extrem geschädigte Flächen

b) Die Identifizierung der forstlichen Eigentumsverhältnisse im Land.

b₁ Eigentumstypen

b₂ Bedingungen der Forsteinrichtung in diesen Eigentumstypen

b₃ Auswirkungen der Einrichtung auf die Umwelt

c) Schätzung der biometrischen Charakteristiken der bestockten Flächen

c₁ Typologische Abgrenzung der Wälder

c₂ Identifizierung der Baumarten

c₃ Identifizierung der dendrometrischen Struktur der Wälder

c₄ Volumetrische Schätzung

c₅ Zuwachsschätzung

c₆ Qualitative Schätzung der Bestockung

c₇ Schätzung von Bestockungsschäden

d) Die ökonomische Beurteilung der forstlichen Ressourcen

- d₁ Erschließungszustand und Erreichbarkeitsbedingungen
- d₂ Kommerzielle Verwertungsbedingungen
- d₃ Technologische Verhältnisse

e) Ökologische Beurteilung der Waldflächen

- e₁ Identifizierung der Flächen zum Schutz der Umwelt im allgemeinen als Nationalreserven für das Gleichgewicht der hydrographischen Einzugsgebiete und die Protektion des Bodens
- e₂ Identifizierung der Flächen für Erholung und Tourismus

Die Informationen zur Erreichung dieser Ziele werden den Regierungsorganen - besonders dem IBDF - als Entscheidungsgrundlage für die Gesetzgebung und die Forstpolitik gegeben. Diese Informationsgrundlagen werden eine Planung für kurze, mittlere und längere Frist ermöglichen.

In diese Planungsarbeiten müssen eingeschlossen werden:

1. Die Schätzung und Vertiefung der Klassifikation der Bodennutzung in Brasilien.
2. Die Verbesserung der Infrastruktur für die Realisierung der Planung.
3. Die Planung einer Infrastruktur für eine integrierte Unterstützungsaktion der forstlichen Entwicklung (Samenbank, wissenschaftliche und technische Unterstützung, usw.)
4. Die Aufstellung eines Nationalplanes für den Forstschutz, der die Insektenkalamitäten, sonstige Schäden, Schutz gegen Feuer usw. beinhaltet.
5. Errichtung eines Nationalplanes zur Einrichtung der hydrographischen Einzugsgebiete, um die Wasserversorgung der Bevölkerung zu gewährleisten.
6. Die Aufstellung eines Nationalplanes zur Bewirtschaftung der Waldflächen mit dem Ziel, die Fauna und die Flora des Waldes zu schützen und mit einem Plan für die Volkserholung abzustimmen.
7. Die Aufstellung eines Nationalplanes zur Entwicklung der Forstindustrien in Funktion von der Verfügbarkeit des Rohstoffes und eine Analyse und Prognose der Nachfrage nach Forstprodukten auf dem Markt.
8. Die Aufstellung eines Nationalplanes zur Bewirtschaftung der forstlichen Hilfsquellen auf staatlichen Flächen und auf Privatflächen.

9. Die Aufstellung eines forstlichen Forschungsprogrammes
10. Die Planung einer Organisation zur Verwirklichung der Pläne
11. Die Überprüfung und Vervollständigung der Gesetzgebung und die Überprüfung der Auswirkungen.

4.3 Entwicklung der Verfahren

Vor der Darstellung der Methoden des IFN für die Nationalforstinventur von Brasilien ist es interessant, die Organisation solcher Inventuren in anderen Ländern kennen zu lernen.

In Schweden wurden nach HAGBERG 1973 bei der ersten Nationalinventur in den Jahren 1923 - 1929 parallele Linien mit 10m Breite aufgenommen (Linien-taxation). Diese erstreckten sich in einer bestimmten Richtung für eine Region. Der Abstand zwischen den Linien betrug 1 - 20 km je nach der natürlichen Intensität der forstlichen Bewirtschaftung. Später wurde dieses Verfahren bis zum Verfahren von Gruppenstichproben, die rechteckig waren und als Trakt bezeichnet wurden, weiterentwickelt.

Dieses Aufnahmeverfahren wurde auch in anderen Ländern eingeführt.

Zu erwähnen sind die laufende Forstinventur von Österreich (HASZPRUNAR, 1978), die Nationalforstinventur in Finnland (KUUSELA, 1978) und Mexiko (VILA SALAS und DELOYA, 1978).

Andere Länder kombinieren eine etwas entwickeltere Phase dieser Nationalforstinventuren zu einer zweiphasigen Stichprobe wie z.B. eine Stichprobenphase mittels Luftbild und eine kombinierte Stichprobe im Gelände. Diese Kombination reduziert die Arbeit und die Inventurkosten. Sie verlangt aber aktuelle Bilder von der ganzen aufzunehmenden Fläche und entsprechende Operationen. Dieses Verfahren kann in Brasilien erst später verwendet werden, weil noch keine methodologische Entwicklung vorhanden ist.

Von den Ländern mit großer Erfahrung auf diesem Gebiet sind die Vereinigten Staaten (van SICKLE, 1978), Canada (SMITH, 1978), Frankreich (BRENAC, 1978), Spanien (MARTINEZ, 1978) und Nordfinnland (POSO, 1978) zu nennen.

Ein letzter Aspekt zur Darstellung der Nationalforstinventur ist, daß die Stichprobenverfahren von Anfang an im Gelände festgelegt und später für die nachfolgenden Inventuren - ohne Gefahr der Diskontinuität- herangezogen werden.

4.31 Technik der Fernerkundung

In Abschnitt 2 wurde eine Methodologie vom RADAM-BRASIL-Projekt dargestellt. Bei der Nationalforstinventur (IFN) werden diese kartierten Einheiten benutzt, um die Waldtypen vorher in einzelne - zu inventarisierende- Regionen abzugrenzen. Diese typologische Stratifizierung kann als Prästratifizierung innerhalb der IFN betrachtet werden. Es soll aber klar gestellt werden, daß es sich dabei nicht grundsätzlich um eine volumetrische Stratifizierung der tropischen Wälder handelt.

In einigen Regionen (Savannen-und Cerrado-Wälder) kann die Stratifizierung auch Grundlage für die volumetrischen Differenzen sein. Diese Analyse kann innerhalb des Verfahrens als nachträgliche Stratifizierung betrachtet werden, wenn die Ergebnisse der Inventur schon gerechnet wurden.

Für eine solche Aufgabe muß eine enge Zusammenarbeit mit dem Projekt RADAM-BRASIL, das große Erfahrung auf dem ganzen brasilianischen Gebiet hat, angestrebt werden.

4.32 Stichprobenverfahren

Für die Nationalforstinventur vorgeschlagene oder empfohlene Stichprobenverfahren sollten in 2 Teile unterteilt werden:

- a) Stichprobenaufnahmen für die Naturwälder und die Nichtwaldflächen
- b) Stichprobenaufnahmen in den gepflanzten Wäldern.

4.321 Natürliche Wälder und Nichtwaldflächen

Das vorgeschlagene Aufnahmeverfahren wurde theoretisch in Abschnitt 2 besprochen.

Für diese Flächen wird das in Abb.26.14 gegebene Traktverfahren vorgeschlagen. Dabei werden 3 Geländeschwierigkeitsstufen unterschieden.

Die Trakte werden systematisch im Gelände angelegt und so programmiert, daß das ARP-Verfahren innerhalb der Nationalforstinventur angewendet werden kann. Diese Bedingung bringt eine merkliche Erhöhung der Genauigkeit für die Schätzungen der zweiten und der nachfolgenden Inventuren.

Hilfsmittel für diesen Vorschlag sind die neuerlichen Arbeiten und Ergebnisse dargestellt von CUNIA 1978 und FRAYER 1978.

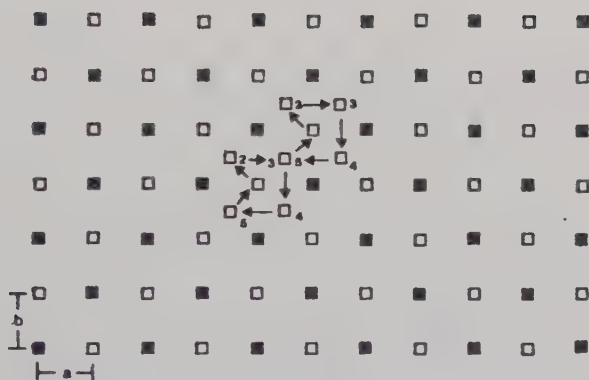
Schwierig bei der Anwendung des ARP-Verfahrens ist die Gewinnung genauer Flächenwerte der inventarisierten Wälder und der Veränderungen in den nachfolgenden Inventuren.

Die statistische Lösung dieser Frage wurde von HAZARD 1977 in Aussicht gestellt und wird von der IFN Brasilien angewendet werden, wenn das Konzept der Gruppenstichproben eingeführt wird.

4.322 Gepflanzte Wälder

Das Stichprobenverfahren für die Inventur der gepflanzten Wälder wurde als integriertes System in Kapitel 3 dargestellt. Diese Inventuren wurden in Brasilien intensiv gehandhabt. Sie werden informativ auf Nationalebene zur Erfassung des forstlichen Potentials der Aufforstungsflächen vorgeschlagen. Es wird möglich sein, eine grundsätzliche Vereinheitlichung der Verfahren bei allen Waldeigentümern zu erreichen, wie in Abschnitt 3 besprochen wurde.

Eine zusätzliche Bedingung ist, daß alle Inventuren ungeachtet der Normalperioden im gleichen Jahr wie die Nationalforstinventur in einer Region durchgeführt werden. Die Nationalforstinventur der Aufforstungsflächen



- Dauernde Gruppe
- Wechselnde Gruppe
- a = b = 20 km in Amazonia
- a = b = 10 km anderen Regionen

Abb.4.1 Stichprobenverfahren. System.Traktanordnung in natürlichen Wäldern. Vorgeschlagen für die Nationalforstinventur in Brasilien

wird dann alle Informationen der Forstbetriebe, der Regierung und der Nationalforste zusammenfassen.

Dieses Problem ist nicht schwer zu lösen, da die Aufforstungen im ganzen Land durch die staatliche Förderung der Steuerermässigung erfolgt sind.

4.323 Die Intensität der Inventuren und ihre Periodizität.

Die Intensität der Inventuren in der Nationalforstinventur in den natürlichen Wäldern und in anderen Flächen wird nach den Regionen SÜDEN, SÜDOSTEN, NORDOSTEN und ZENTRUM WEST nach einem systematischen Kriterium mit Intervallen von 10 km zwischen den Proben festgelegt. In der Region NORD wird - wegen der großen Ausdehnung und der schwierigen Erreichbarkeit - ein Abstand von 20 km vorgeschlagen.

Um das ARP-Verfahren innerhalb der Nationalforstinventur verwirklichen zu können, werden 50% der Trakte schon bei der ersten Inventur festgelegt. Die anderen 50% sollen so flexibel gehalten werden, daß die Lage bei jeder neuen Inventur variieren kann. Die Flexibilität hat mehrere zusätzliche Vorteile (s. auch Abschn. 3)

Wird diese Rotation von 50% der Stichproben festgesetzt, dann kann so organisiert werden, daß eine und dieselbe Fläche alle 60 Jahre neu gemessen wird. Es ist also möglich, daß Stichproben auch in kürzeren Perioden von 20 Jahren (wie in Abb. 4.1 dargestellt) wieder gemessen werden.

Dies ist für die tropische Region außerordentlich wichtig. Bei einer Periodizität der Nationalforstinventur von 10 Jahren wird jede Region bis zum Ende der Periode neu aufgenommen werden.

4.33 Integriertes System der Datenverarbeitung.

Das System der Datenverarbeitung muß in integrierter Form programmiert werden. Diese hat große Vorteile für die Vereinheitlichung der Auswertung und der Ergebnisse, um zu große Kosten und zu schwer erreichbare Daten bei einer Dezentralisierung zu vermeiden.

Neuerdings haben verschiedene Spezialisten auf diesem Gebiet integrierte Systeme vorgestellt, um die Operationalität in großem Maßstab zu erreichen. Beispiele der in den USA entwickelten Systeme wurden übersichtlich dargestellt von SPACE 1978.

Hervorzuheben sind das System der EDV-Auswertung der Forstinventuren -dargestellt von WILSON 1967 - und Processing Service Programm Dokumentation von MOSER, 1972, das Programmsystem für CFI, dargestellt von MELTER 1974 und das Illinois-System für die Auswertung der Forstinventurdaten, dargestellt von PELZ und TOM 1976.

Die Nationalforstinventur in Schweden ist auch ein Beispiel für ein - mit Erfolg angewandtes- integriertes System. Eine detaillierte Darstellung der Organisation kann aus der Arbeit von BACKLUND 1973 entnommen werden.

4.4 Die allgemeine Organisationsstruktur der Nationalforstinventur (IFN)

Die allgemeine Organisation der IFN in Brasilien wird- der großen territorialen Ausdehnung wegen- nach politischen Einheiten geplant werden müssen, um die Zusammenfassung der Resultate auf regionaler Ebene zu erleichtern.

Bei dem Umfang der notwendigen Aufgaben muß die Organisation schrittweise erfolgen. Die erste Durchführung sollte in der Region SÜD ihren Anfang nehmen und nach und nach auf die anderen Regionen ausgedehnt werden.

Da die IFN alle 10 Jahre wiederholt werden müssen, sollen für jede Region je 2 Jahre mit folgender Zeitplanung vorgesehen werden:

Zeitliche Planung der IFN

Ordnungszahl	Region	Fläche km ²	Jahr
1	Süden	562.077	1- 2
2	Südosten	918.808	3- 4
3	Nordosten	1.542.271	5- 6
4	Centrum-West	1.879.356	7- 8
5	Norden	3.554.002	9-10
Landesfläche		8.456.514	

Um die Durchführung dieser Arbeiten zu gewährleisten, muß eine funktionale Organisation innerhalb des IBDF errichtet werden. Da die Aufgaben der IFN sehr verschieden sein werden, müßte eine integrierende Organisation zwischen den verschiedenen Institutionen der Federalregierung begründet werden. Dem IBDF müßte die Aufgabe der Koordinierung und Orientierung zufallen. Ein Beispiel dafür hat Schweden gegeben. Vorschläge für eine solche Funktionalorganisation sollen in Abschn.4.5 gegeben werden.

4.41 Personal für die Außenarbeiten.

Die Organisation des Personals für die Außenarbeiten ist die wichtigste Aufgabe innerhalb der Organisation der IFN. Es gibt 3 Möglichkeiten dafür:

a) Ständige, bewegliche Mannschaften.

Diese Organisation hat zum Ziel, Mannschaften für die Durchführung der Inventur auszubilden und sie nur für diese Aufgaben vorzusehen. Dies hat den Vorteil, das Personal unter idealen Bedingungen zu spezialisieren. In Brasilien ist dieses Verfahren -wegen der zu großen Entfernungen- leider nicht durchführbar. Die Familien der Mannschaften müßten alle 2 Jahre von Region zu Region umziehen. Ein anderer Nachteil sind außerdem die stark schwankenden Regionsgrößen.

b) Zeitweilige Mannschaften

Eine andere Möglichkeit wäre die Ausbildung von Mannschaften für die Inventur in einer Region, die nach Abschluß der Arbeiten wieder aufgelöst werden. Diese Organisation ist schon mehrfach erprobt. Für die IFN ist sie aber aus folgenden Gründen nicht ratsam:

- b₁ Die Arbeit der IFN muß bei jeder Wiederholung schrittweise verbessert werden. Die eingearbeiteten Techniker müßten, um sich gute technische Erfahrung anzueignen, möglichst lange an derselben Aufgabe arbeiten.
- b₂ Die Organisation einer großen Anzahl von Mannschaften für eine relativ kurze Außenaufnahmezeit wird ein großes Problem darstellen, weil kein qualifiziertes Personal zur Verfügung steht. Unter diesen Umständen ist es nicht möglich, Mannschaften mit dem erforderlichen Ausbildungsstand zu bekommen.
- b₃ Die Verfügbarkeit von Technikern für eine zeitweilige Arbeit ist gerade umgekehrt proportional zur Nachfrage in der jeweiligen Region. Es existieren beispielsweise in der Region SÜD mehrere verfügbare Techniker, während in der Region NORD äußerster Mangel herrscht. Diese Alternative ist also für die IFNC nicht geeignet.

c) Ständige, stationäre Mannschaften

Die Organisation von ständigen, stationären - von der IFN ausgebildeten- Mannschaften in jeder Region wäre die ideale Lösung. Diese Mannschaften werden nach Abschluß der Außenarbeiten innerhalb jeder Region für normale Aufgaben bis zur nächsten Inventur nach 10 Jahren übernommen.

Diese Lösung ist nicht nur für die IFN zweckmäßig , sie verspricht auch eine größere Wirksamkeit für den IBDF und das Land.

4.42 Die Organisation und die Funktionsfähigkeit der IFN

Die Anstrengungen zur Realisierung einer Arbeit solchen Ausmaßes führt zu der Notwendigkeit einer Organisation in drei getrennten Sektoren:

- a) In Brasilia müßte die Nationalkoordinierung , die Datenverarbeitung und die Information über die Ergebnisse konzentriert werden.
- b) Die Außenarbeiten müssen durch einen technischen Stab dezentralisiert in jede Region und für jeden Staat geleitet werden.
- c) Die technische Koordinierung der Außenarbeiten müßte auch für jede Region dezentralisiert werden. Die Region wird-zur Erreichung einer successiven Verbesserung- die Verantwortung haben, alle daran interessierten Organe und Institutionen zu integrieren.

4.43 Bekanntmachung der Resultate

Die Abschlußarbeit der IFN muß mit 2 Zielen bekanntgemacht werden:

- a) Darstellung der technischen Ergebnisse und Erfahrungen zur Benutzung für die Planung und die Forstpraxis.
- b) Die synthetische Zusammenfassung der Entscheidungskriterien für die politischen Institutionen jedes Staates, jeder Region und der Federal-behörden.

4.44 Kosten

Die Kosten der IFN sind im allgemeinen sehr hoch, die meisten Länder heben aber hervor, daß sich diese Investitionen für das Land sehr gut bezahlt machen, Die Sicherheit für die Entscheidungsmöglichkeit ist umso größer je mehr Informationen über die Naturalressourcen, ihre Schätzungen für die Planung und die Entwicklung des forstlichen Sektors und der Umwelt vorliegen. Bei Ländern wie USA, Österreich, Schweden und Frankreich sind die Kosten sehr unterschiedlich. Dies ist bedingt durch die besonderen Bedingungen jedes Landes, wie Stichprobenintensität , vorhandene Struktur innerhalb der forstlichen Institutionen und Ausbildungsstand des Personals.

In Brasilien liegen die Kosten 1979 mit Sicherheit zwischen 0,75 - 1,50 Cruzeiros, d.h. 0,05 - 0,10 Dm pro ha.

Die Schätzung ist zuverlässig, wenn die festen Kosten zu den Kosten der Außenarbeiten in Beziehung gesetzt werden.

4.5 Die institutionale Struktur der INF in Brasilien

In Brasilien nimmt die Bedeutung der Existenz einer Einrichtung wie die INF zu mit der wachsenden Rolle der forstlichen Hilfsquellen. In gleichem Maß nimmt auch die Bedeutung des IBDF zwischen den anderen Regierungsorganen zu.

Mit der energetischen Krise ist eine richtige Information über die forstlichen Vorräte für das Ministerium für Bergbau und Energie ebenso wichtig, wie für das Landwirtschaftsministerium. Das Industrie- und Wirtschaftsministerium und das Innenministerium werden auch Nutznießer der INF sein.

Die institutionelle Struktur der INF muß auf 3 operativen Ebenen erreicht werden. Sie soll charakterisiert sein durch eine integrierende Konzeption und gleichzeitig eine dezentralistische Struktur der Durchführung.

Die 3 Ebenen sollen wie folgt definiert werden:

- a) Die Koordinierung der Nationalpolitik
- b) die Koordinierung der nationalen Technik
- c) die Koordinierung der regionalen Technik.

4.51 Die Koordinierung der Nationalpolitik

Diese Koordinierung ist für die Festlegung einer integrierenden Form der Ziele der INF sehr wichtig. Diese Koordination muß von dem Leiter des IBDF erfolgen, um eine vollkommene Integrierung mit anderen - daran interessierten - Federalorganen zu erreichen.

Die teilnehmenden Mitglieder für die Planung bilden den Konsultativrat.

4.52 Die Koordinierung der Technik auf nationaler Ebene

Die nationale technische Koordinierung muß sich u.a. auf die methodische Planung, die Durchführung der Planung des Personalbedarfs und auf den Fortgang der Außenarbeiten konzentrieren.

Zur Entfaltung dieser Aktivität muß ein wissenschaftlicher Rat instituiert werden, der von den Professoren der 10 forstlichen Fakultäten Brasiliens gebildet werden soll. In diesem Rat müssen die theoretischen Probleme diskutiert und eine Vereinheitlichung der Durchführung der Arbeiten auf nationaler Ebene erreicht werden.

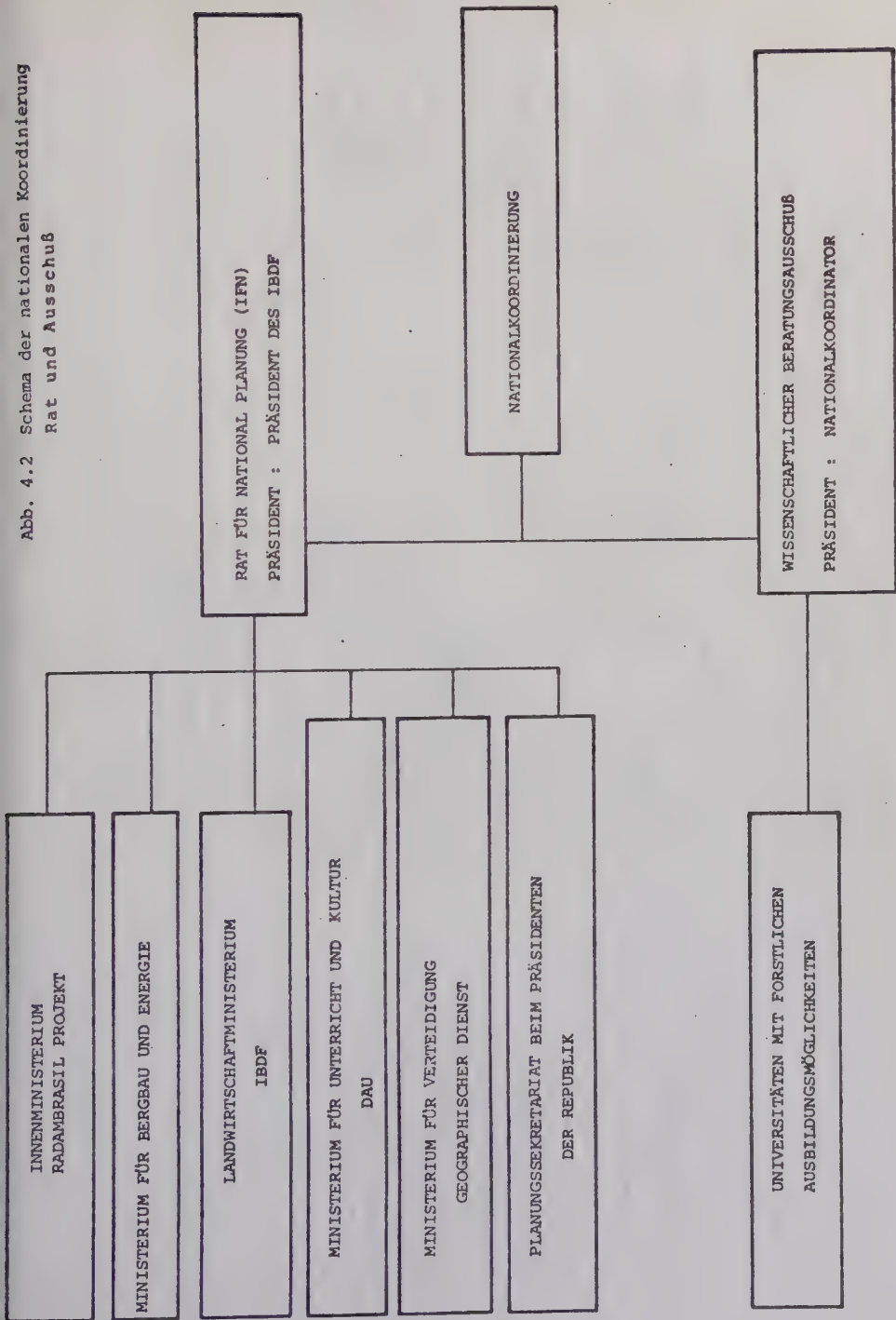
Auf dem Gebiet des Datenwesens und der Fernerkundung existiert bereits eine große Organisation im Rahmen des RADAM-BRASIL-Projektes . Es wird notwendig sein, bei der Koordinierung eine enge Zusammenarbeit mit diesem Projekt zu erreichen, um die komplementären Informationen für die IFN zu bekommen.

4.53 Die technische Koordinierung auf regionaler Ebene

Die regionale Koordination hat die Durchführung der Außenarbeiten der IFN zum Ziel. Die Mannschaften müssen ausgebildet und verwaltungsmäßig betreut werden. Durch eine integrierende Aktion in allen Staaten der Region und eine logistische Organisation wird das Fortschreiten der Arbeiten gewährleistet.

Außerdem muß eine Regionaldatenbank errichtet werden. In ihr werden die erhobenen Daten der Region mit graphischen Darstellungen, Bildmaterial, Satellitenbildern, Karten usw. aufbewahrt werden. Eine Skizze für diese Struktur ist in den Abbildungen 4.2, 4.3 und 4.4 gegeben.

Abb. 4.2 Schema der nationalen Koordinierung
Rat und Ausschuß



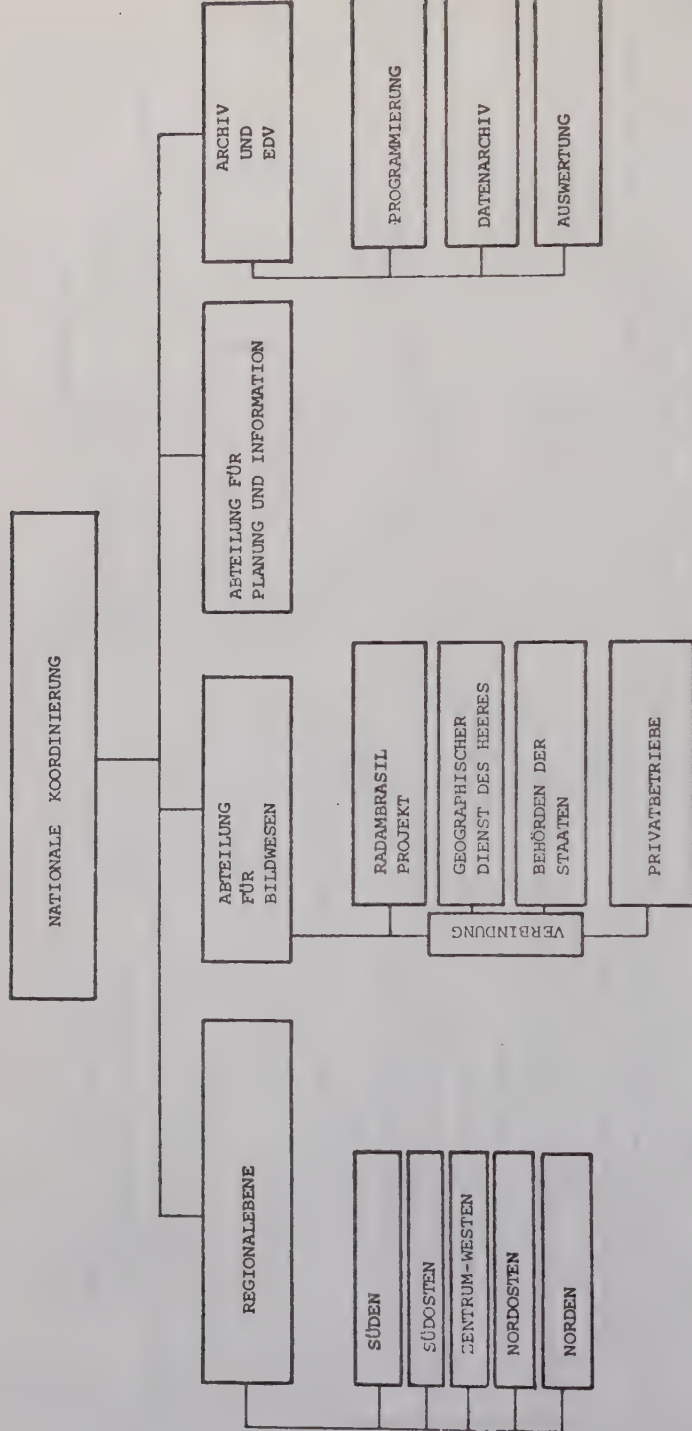


Abb. 4.3 Schema der nationalen Koordinierung

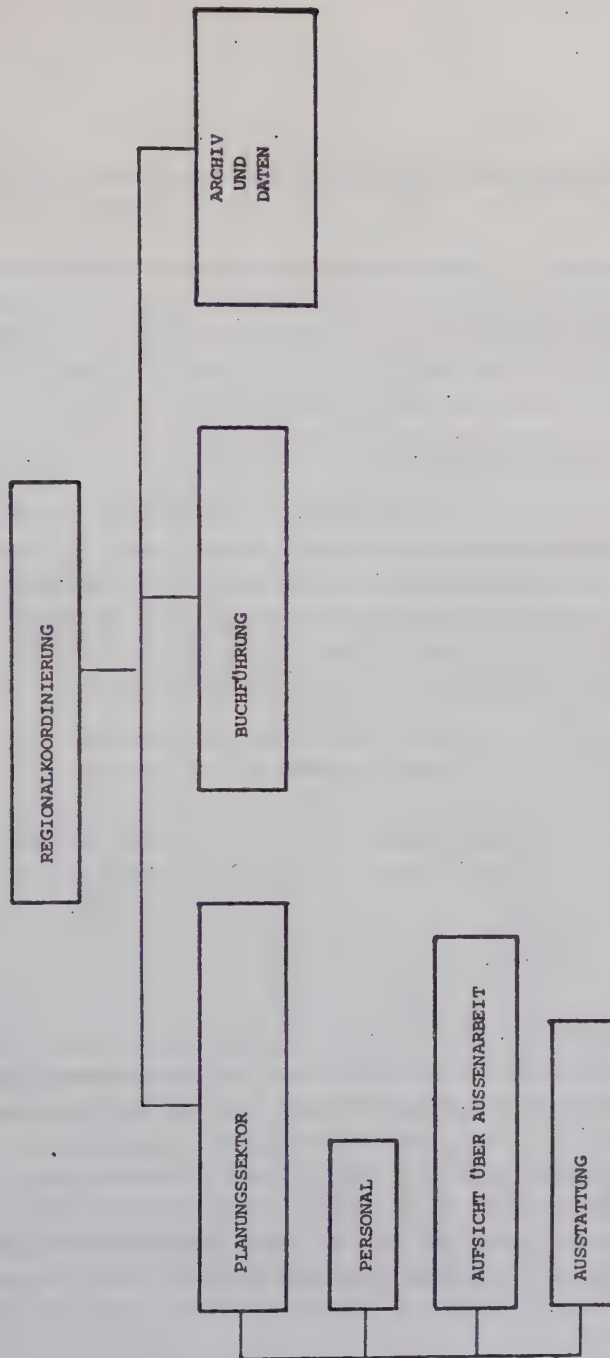


Abb. 4.4 Schema der regionalen Koordinierung.

5. Beiträge zu den holzmeß- und ertragskundlichen Grundlagen der Großraum-Inventuren.

Neben einer Synthese der wichtigsten Ergebnisse sollen nachstehend einige weiterführende Gesichtspunkte bei der Durchführung von Forstinventuren in natürlichen und gepflanzten Wäldern aufgezeigt werden. Dabei soll besonders auf die - in den brasilianischen Regionen gemachten- Erfahrungen und die neuesten Forschungsergebnisse Bezug genommen werden.

5.1 Die forstliche Lage Brasiliens

In Kap.1 wurde die Lage der diversen geopolitischen Regionen von Brasilien in Bezug auf die Auswirkungen der Exploitationen besprochen. Es zeigte sich, daß in einigen Regionen die Exploitation der Forste die zulässigen Grenzen für ein ökologisches Gleichgewicht weit überschritt. Nach der Erfahrung in den entwickelten Ländern können als ideale Grenze für den Waldanteil 30 % der Gesamtfläche gefordert werden. Tab.51 zeigt den Zustand verschiedener Regionen.

Tab.51 Waldflächenanteil in Brasilien (1973)

Region	% d.tatsächl. Waldflächenant.	Diff.zu 30%	zu wenig Waldfl. (in 1.000 ha)
Süden	11,8	- 18,2	10.230
Südosten	24,8	- 5,2	4.778
Centrum-West	38,1	+ 8,1	-----
Nordosten	47,1	+ 17,1	-----
Norden	90,2	+ 60,2	-----

Von 1973 bis 1979 haben sich die Verhältnisse noch verschlechtert. Das Defizit des Waldflächenanteils in den Regionen Süden, Südosten und Centrum-West hat sich im Vergleich zum Norden und Nordosten wesentlich vergrößert.

In der Region Nordosten sind in der verbleibenden Waldfläche auch die Savannen- und Steppenwälder enthalten. Diese Regionen sind durch die fehlende Waldfläche mit sehr großen Umweltproblemen (Erosion, klimatische Unregelmäßigkeiten, Verschmutzung und Vernichtung der regionalen Fauna und Flora - belastet.

Um ein ökologisches Gleichgewicht zu gewährleisten, sind für alle Regionen dringende Maßnahmen notwendig.

a) Gesetzgebung und Forstorganisation

Die Gesetzgebung muß vervollständigt werden, um eine konsequente Anwendung zu garantieren. Solche Objektive können von der Federalregierung nur unter folgenden Voraussetzungen erreicht werden:

- Intensivierung der Funktionsfähigkeit des IBDF durch die Errichtung von Forstdistrikten mit Programmierung eines besonderen Aufgabenbereichs zur Förderung und Überwachung der Forstresourcen.
- Die Vervollständigung der Forstgesetzgebung, damit die privaten Waldflächen durch die Erbfolge nicht zerstückelt werden können.
- Weiterführung der Unterstützung der Aufforstungen und Abzweigung eines bestimmten Anteils davon zur Errichtung öffentlicher Wälder mit Sozialfunktionen, Schutzfunktionen und Erholungsfunktionen mit einheimischen Baumarten

b) Einrichtung der noch vorhandenen Naturwälder

Die Einleitung der Forsteinrichtung der noch verbleibenden natürlichen Wälder ist die wichtigste Maßnahme zu ihrer Rettung.

Dazu ist erforderlich:

- Das Prinzip der Nachhaltigkeit muß in allen Naturwäldern beachtet werden.
In den Regionen mit weniger als 30% Waldflächenanteil muß dieses Prinzip sehr streng und ausnahmslos angewendet werden.
- Die staatlichen Waldreserven müssen in jeder Region des Landes so vergrößert werden, daß sie mindestens 5 % der Gesamtfläche ausmachen.

c) Die Bedeutung der forstlichen Forschungen

Alle Charakteristika der natürlichen Wälder können nur durch intensive forstliche Forschung erfahren werden.

Die gepflanzten Wälder wurden durch private Unternehmen in umfangreichem Maße untersucht und verursachen auch in Zukunft keine Schwierigkeit.

Die Untersuchungen in Naturwäldern sollten - im Hinblick auf die langfristige Datensammlung- besonders in den öffentlichen Wäldern durchgeführt werden.

Dabei müssen in Betracht gezogen werden:

- Die Verjüngung in Naturwäldern
- Der Zuwachs und die Produktion der natürlichen Wälder
- Die Holztechnologie der natürlichen Baumarten
- Die Bewertung der Sozialfunktionen der natürlichen Wälder.

5.2 Die Inventurplanung in den natürlichen Wäldern

In Kapitel 2 wurden einige Aspekte für die Inventurplanung in den natürlichen Wäldern dargestellt.

Bei der Planung müssen folgende Punkte befolgt werden:

5.21 Die Charakterisierung der Struktur der natürlichen Wälder

5.211 Die ökologische Charakterisierung

5.212 Die dendrometrische Charakterisierung

5.213 Die Charakterisierung der Artverhältnisse

5.214 Die Charakterisierung der Nutzungsverhältnisse

Die Teile 5.211 und 5.212 sind für die Planung der Forsteinrichtung von Bedeutung und geben strukturelle Informationen für die künftigen Inventuren. Die Teile 5.213 und 5.214 ermöglichen die Analyse der Erschließung der Wälder und erleichtern den Forsteinrichtungsplan. Für jeden dieser Punkte sollen einige Probleme skizziert werden, die bei bisherigen Inventuren in verschiedenen Wäldern von Brasilien konkretisiert wurden.

5.211 Die ökologische Charakterisierung

a) Vielfältige Zusammensetzung

Wie schon erwähnt sind in den natürlichen tropischen Wäldern sehr viele Baumarten. Dadurch ist die richtige Identifizierung aller Baumarten im Rahmen der Inventur sehr schwierig. Die Identifizierung mit Hilfe der makromorphologischen externen Merkmale scheint der praktisch gangbare Weg zu sein und

muß deshalb in Zukunft noch verbessert werden.

Für die Entwicklung sind erforderlich:

- Eine Datenbank und ein Nationalsystem der Herbarien

In einer Datenbank werden alle bisherigen ökologischen und dendrologischen Arbeiten über die natürlichen Wälder gespeichert. Außerdem eine systematische Auflistung aller vorkommenden Baumarten, ihre phytogeographische Abgrenzung, die dendrologischen Charakteristiken sowie ihre ökonomische und technische Bedeutung. Ausgehend davon muß auf lange Sicht ein dendrologischer nationaler Schlüssel- basierend auf der makromorphologischen Charakteristik der vorkommenden Baumarten- erstellt werden.

- Das Nationalsystem der Herbarien

Die Intensivierung des Herbariennetzes und der Austausch zwischen den Regionalherbarien durch die Institute für forstliche Forschung des Landes ist unerläßlich.

b) Die ungleichaltrige Struktur der natürlichen Wälder

Die ungleichaltrige Struktur der natürlichen Wälder wird ermöglicht durch die große Toleranz der tropischen Baumarten im allgemeinen. Dadurch ist die natürliche Verjüngung und Erhaltung des ökologischen Gleichgewichts der Baumart gewährleistet. Die strukturellen Verhältnisse der natürlichen Wälder müssen in folgenden Punkten noch intensiv untersucht werden:

- Die natürliche Verjüngung

Die natürliche Verjüngung in den Naturwäldern wurde bis jetzt zu wenig untersucht und nicht genug bewertet. Für spätere Inventuren muß beachtet werden:

- Es sollen bei allen Stichprobenverfahren schon Daten über die Verjüngung aufgenommen werden. Diese Informationen sind für die Planung der Forsteinrichtung- zur Schätzung der Verjüngung der wichtigsten Baumarten- sehr wesentlich. Dadurch kann das geeignetste waldbauliche Verfahren definiert werden. Die ökologische Entwicklung der Wälder und ihre Korrelation mit den Umweltdaten - Bodentypen, Niederschläge, Temperatur- müssen geschätzt werden.

- Die räumliche Verteilung der Baumarten in natürlichen Wäldern

Die Analyse der räumlichen Verteilung und die variable Struktur der Wälder ist für die ökologische Charakterisierung von großer Bedeutung. Das ermöglicht die zahlenmäßige Charakterisierung der Verjüngung und zwar die Schätzung der durchschnittlichen Entfernung zwischen den älteren Bäumen und die Erfassung der Gruppenbildung und des gegenseitigen Einflusses der Baumarten im natürlichen Wald.

Grundlagen für solche Untersuchungen können aus der Arbeit von BRUN 1969 entnommen werden.

Für solche Untersuchungen sind zusätzliche Informationen für die Inventuren notwendig wie:

- Eine Kartendarstellung von 100 ha großen Flächen mit allen vorkommenden Baumarten in den tropischen Wäldern, im Cerrado und in den subtropischen Wäldern zur Klärung der strukturellen Bedingungen.
- Die Erhaltung dieser Flächen als ständige Flächen für die periodischen Schätzungen der Succession auf lange Sicht.

Die Mortalität in den natürlichen Wäldern

Nach den bisherigen Erfahrungen bei den Forstinventuren im Amazonasgebiet war die Mortalität die einzige ökologische Variable, die bis jetzt untersucht wurde.

In der - entlang der Transamazonica-Autobahn durchgeführten - Inventur wurden alle abgestorbenen Bäume in den Stichprobeneinheiten notiert. Die Ergebnisse der Baumart sind in Tab.52 für eine inventarisierte Fläche von 400 000 ha gegeben. Die Auflistung dieser Baumarten mit ihren Codenummern ist in Anlage 1 gegeben.

Daraus ergibt sich eine Mortalität von 30,3% (56 von 185 identifizierten Baumarten). Für die Gesamtheit aller Blocks von 100.000 ha variiert die Mortalität - ohne Rücksicht auf die Baumarten- zwischen 2,5 und 7,7 % (s.Tab.52).

Tab.52 Durchschnittliche Mortalität

(festgestellt b.d.Forstinventur:Pic Altamira-Transamazonica-Autobahn

Block Nr.	Anzahl der Bäume	Anzahl d. toten B.	Fläche	λ
1	3.025	233	100.000	7,7
2	1.965	86	100.000	4,4
3	1.630	70	100.000	4,3
4	1.450	36	100.000	2,5
	8.070	425	400.000	5,3

Über diese ökologische Variable müssen in ausführlichen Studien die Ursachen und die Korrelation mit anderen biometrischen Charakteristiken wie die Durchmesservertelung, die Dichte der Bestände u.a. untersucht werden.

5.212 Dendrometrische Charakteristika

Hier sollen die Grundinformationen zur Charakterisierung der Waldstruktur und des Gleichgewichtszustandes erörtert werden.

- Vorkommensintensität der Baumarten in den natürlichen Wäldern

Bei verschiedenen Forstinventuren in den Tropen zeigte sich eine Beziehung zwischen der Anzahl der Baumarten und der Anzahl der aufgenommenen Stichprobeneinheiten. Entlang der Transamazonica-Autobahn wurde diese Beziehung in Funktion von der Entfernung zwischen den systematisch verteilten Stichprobeneinheiten festgestellt.

Diese Daten konnten durch die Hyperbel:

$$N_e = \frac{D}{0,0560 + 0,0053 D} \quad (5.1)$$

ausgeglichen werden

wobei: N_e = Anzahl der Baumarten
 D = Entfernung in km

Für die Gleichung der Geraden gilt:

$$\frac{D}{N_e} = 0,0560 + 0,0053 D, \quad r^2 = 0,99 \quad (5.2)$$

Die graphische Darstellung dieser Funktion ist in Kap.2 Abb.26.6 gegeben. Diese Durchmesser-Verteilung variiert für jede Baumart und es ist notwendig, die Ähnlichkeiten zwischen ihnen zu analysieren, um -wenn möglich- Gruppen zu bilden. Solche Analysen mit 185 Baumarten auf der Fläche sind außerordentlich schwierig.

Beispiele solcher Verteilungen für den tropischen Wald, für Cerrado und für den subtropischen Wald von PARANA sind ermittelt worden. Die Daten werden in Anlage 1 gegeben.

Als Ausgleichsfunktion wurde von MEYER 1933

$$N_i = k e^{-bd_i}$$

vorgeschlagen.

Für die Durchmesser-Verteilung im tropischen Wald auf einer bei ACRE aufgenommenen Fläche durch das RADAM-BRASIL-Projekt ergab sich die Formel:

$$N_i = 135,6677 e^{-0,0517 d_i} \quad (5.3)$$

Für den subtropischen Wald im Westen von PARANA auf Grund der Forstinventur von ITAIPU ergaben sich für die 3 ausgeschiedenen Forsttypen folgende Verteilungen (HOSOKAWA 1978):

Forsttyp I

$$N_i = 128,2240 e^{-0,0496 d_i} \quad (5.4)$$

Forsttyp II

$$N_i = 137,8561 e^{-0,0540 d_i} \quad (5.5)$$

Forsttyp III

$$N_i = 177,0018 e^{-0,0616 d_i} \quad (5.6)$$

Für die Waldfläche von CERRADO-GROSSO ergab sich bei der Federaldistrikteinventur die Formel

$$N_i = 1212,9832 e^{-0,1938 d_i} \quad (5.7)$$

Beziehung zwischen Höhe und Durchmesser in natürlichen Wäldern.

Die Variable Gesamthöhe der Bäume in tropischen Wäldern wurde - wegen der Schwierigkeit, sie praktisch zu ermitteln- meist vernachlässigt.

Allgemein wird die kommerziell verwertbare Höhe h_c der aufgenommenen Bäume bis zum Kronenansatzpunkt definiert. Diese Höhe stellt aber ernste Einschränkungen für die Festlegung holzmeskundlicher Beziehungen vom Typ

$$h_c = f(d) \quad h_{cm} = f(dg) \quad \text{oder} \quad V = f(d, h_c)$$

Dies äußert sich in einer sehr großen Variabilität der Daten und in großen Fehlern der Ausgleichsfunktion. Die Ergebnisse mit diesen Ausgleichungen waren im Amazonasgebiet nicht befriedigend.

Für die künftigen Inventuren wird vorgeschlagen:

- Die Messung der Gesamthöhe aller Volumenprobestämme
- Die Messung der Gesamthöhe eines Teiles der gemessenen Bäume in den Aufnahmeeinheiten (verteilt auf die Durchmesserklassen)
- für Baumartengruppen wurden folgende Beziehungen nach PRODAN 1965 getestet:

$$h = \frac{d^2}{a+bd + cd^2} + 1.30 \quad (5.8)$$

$$h = \frac{d^2}{(a+bd)^2} + 1.30 \quad (5.9)$$

- Massenschätzung

In Kap.2 wurden 4 Verfahren für die Massenschätzung von Einzelbäumen erörtert

1. mit der Formzahl:

$$v = \frac{\pi}{4} d_x^2 h \lambda_x \quad (5.10)$$

2. durch Massengleichungen:

$$v = f(d, h, z_x) \quad (5.11)$$

3. durch absolute kontinuierliche Formreihen:

$$dx = f(d, h, z_x)$$

und

$$v = \frac{\pi}{4} \int_0^h dx^2 \cdot dh \quad (5.12)$$

4. durch relative kontinuierliche Formreihen:

$$\Delta x = f(Bx)$$

und

$$v = \frac{\pi}{4} h \int_0^1 [f(x)]^2 dx \quad (5.13)$$

Für das Verfahren 1 wurde eine besondere Lösung vorgeschlagen, in der $\lambda_x = 1$:

$$v = \frac{\pi}{4} dq^2 h \quad (5.14)$$

Die Anwendung dieses Verfahrens - überprüft anhand von 141 Bäumen der Baumart *Araucaria angustifolia* aus der Region QUEDAS von IGUAÇU in PARANA ergab:

$$dq^2 = 0,2341 - 0,4619 d + 0,6563 d^2 \quad (5.15)$$

und

$$r = 0,99$$

$$s_{y/x} = 0,298$$

Die Lösung mit dem 2. Verfahren und denselben Daten ergab:

$$v = h (0,0369 - 0,1508 d + 0,4507 d^2) \quad (5.16)$$

mit $r = 0,98$

$$s_{y/x} = 0,2533$$

Diese Lösungen sind in den Abb. 5.1 und 5.2 gegeben.

Das Verfahren 3 hat zur Schätzung von Teilvolumina für die Baumart *Araucaria angustifolia* keine befriedigenden Ergebnisse gezeigt.

Das Verfahren 4 ist für diese Aufgabe geeigneter und wurde ausführlich diskutiert. Um die Anwendung zu erleichtern, wurde die Form der *Araucaria angustifolia* in der ganzen Region Südbราซิลien mittels einer Population von 2.465 Bäumen aufgenommen in 32 verschiedenen Regionen im Süden Brasiliens untersucht. (Tab. 53)

Es wurden Abschnitte von 2 m - ausgehend vom Brusthöhendurchmesser bis zum

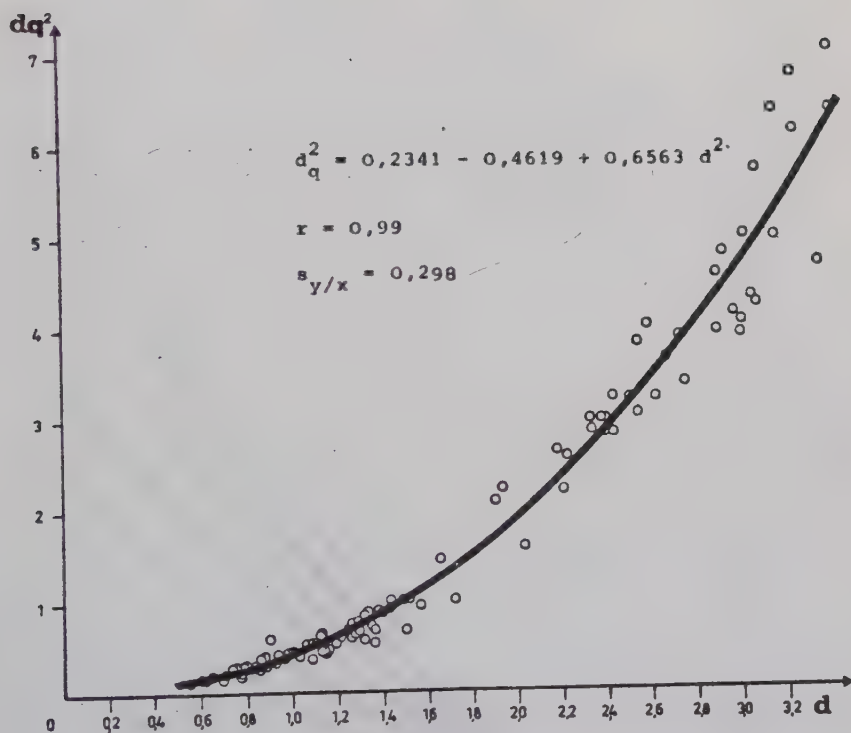


Abb. 5.1 Beziehung zwischen dem quadratischen Mitteldurchmesser und dem Durchmesser in Brusthöhe des Baumes. (Baumart *Araucaria angustifolia*)

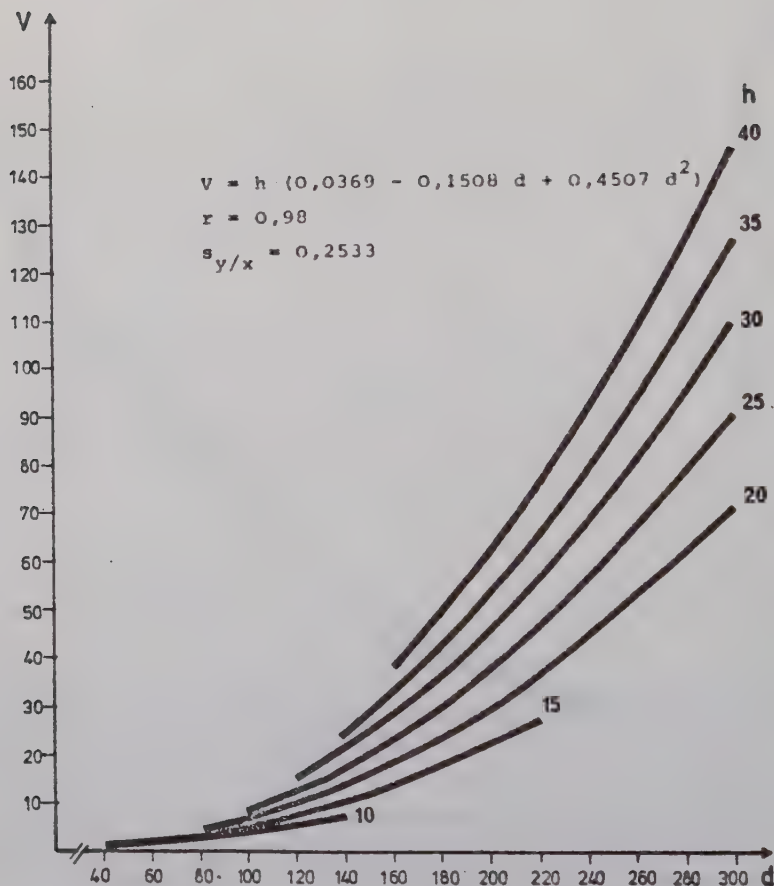


Abb. 5.2 Volumentarif für die Region QUEDAS-IGUACU
PARANA FÜR *Araucaria angustifolia*

Übersicht 53 Regionen in welchen die Schaftform und das Volumen der *Araucaria angustifolia* im Süden Brasilien erhoben wurde.

Code	Region	Anzahl der Bäume	Staat	Code	Region	Anzahl der Bäume	Staat
0	Bom Jesus	35	RS	17	Monte Castelo	20	SC
1	S.F. de Paula	104	RS	18	Quedas Iguaçu	149	Pr.
2	Nova Petrópolis	118	RS	19	Gal. Carneiro	29	Pr.
3	Sarandi	4	RS	20	S. João Triunfo	99	Pr.
4	Concórdia	101	SC	21	Veranópolis	40	RS
5	Tangará	108	SC	22	Getúlio Vargas	61	RS
6	Cacador	120	SC	23	Casca	40	RS
7	Iriepópolis	128	SC	24	Tupinambá	40	RS
8	Nonoai	119	SC	25	Tapejara	43	RS
9	Tenente Portela	100	RS	26	Itaipópolis	30	SC
10	São Joaquim	136	SC	27	Leblon Regis	30	SC
11	Mallet	122	Pr.	28	S. Crist. do Sul	30	SC
12	Palmas	118	Pr.	29	Faxinal do Guedes	33	SC
13	Mangueirinha	126	Pr.	30	S. José Ouro	60	RS
14	Mamburê	99	Pr.	31	Guarapuava	131	Pr.
15	C. Belo do Sul	168	SC	32	Diversos	16	--
16	B.J. da Serra	20	SC				

Baumgipfel-gemessen.

Durch Anwendung eines von PETERS 1971 entwickelten Rechenprogrammes wurde die Durchmesserreihe in relativer Höhe der Schäfte auf Grund dieser Daten interpoliert. Es wurden je 10 Durchmesser pro Baum berechnet.

Wird das Programmpaket SPSS angewandt, dann resultieren folgende Daten:

- a) relative Reihe der Durchmesser A_x
- b) echte Formzahl $\lambda_{0,9}$
- c) Volumen für alle Bäume
- d) der quadratische Durchmesser d_q als Durchschnitt aller Bäume

Die Statistischen Überprüfungen der Baumform der Araucaria im Süden Brasiliens erfolgten mit der Varianzanalyse für die echte Schaftholzformzahl $\lambda_{0,9}$ und für die Gesamthöhe der Araucaria angustifolia .

Die Tests oder Überprüfungen in 33 Regionen ergaben die Daten in Tab.54 u.55

Tab.54 Varianzanalyse für $\lambda_{0,9}$

Varianz	FG	Quadratsumme	mittl.Streuung	F
zwischen	32	2,8046	0,0876	
innerhalb	2433	8,3710	0,0034	25,473 xx
insgesamt	2465	11,1756		

Tab.55 Varianzanalyse für h

Varianz	Fg	Quadratsumme	mittl.Streuung	F
zwischen	32	13616,72	425,52	
innerhalb	2433	17350,92	7,13	59,67 xx
insgesamt	2465	30967,64		

Die Überprüfung mit dem STUDENT-NEWMAN-KEULS-Test und dem Test von TUKEY mit einer Sicherheitsschwelle von 95 % führt zu einer Zusammenfassung

in 4 Gruppen (s. Übers. 56 und 57).

Bei der Analyse dieser Gruppen kann festgestellt werden, daß eine klare ökologische Abgrenzung der echten Schaftholzformzahl besteht:

a) Im Verbreitungsgebiet der *Araucaria* nimmt im Bereich einer durchschnittlichen Höhe von 500 m ü.M. die echte Formzahl mit zunehmender Standortsqualität ab.

In Abb. 5.3 sind die Abgrenzungen für verschiedene λ_{09} -Werte im Süden Brasiliens gegeben.

Wie in der Literatur für andere Baumarten festgestellt wurde, nimmt λ_{09} bei der *Araucaria* mit zunehmender Höhe etwas ab.

- Die Massenschätzung durch die transformierte relative Formreihe

a) Im Falle der *Araucaria angustifolia* ist eine Erfassung des Durchmessers $d_{0,9}$ notwendig, um eine wirklichkeitsnahe transformierte Reihe zu erhalten.

b) Die Funktionen der transformierten Reihe können ausgeglichen werden für die 4 definierten Gruppen in der Region Süd. Daraus können endgültige Tabellen für Teilmassen oder für die kommerziell verwertbaren Massen abgeleitet werden-

c) Diese Funktionen können auch verwendet werden zur Ableitung von Teilmassen für die Schäfte verschiedener Qualität.

d) Die Anwendung dieses Verfahrens in tropischen Wäldern wird ermöglichen, transformierte Formreihen in Abhängigkeit von der Gesamthöhe abzuleiten, sodaß eine Vergleichsmöglichkeit zwischen allen Baumarten oder Baumartengruppen möglich sein wird. Die Werte der transformierten Reihe oberhalb der kommerziellen Höhe können aus derselben Ausgleichsfunktion abgeleitet werden.

- Die Schätzung der Schaftqualität bei der Inventur

Die Schäfte wurden erst seit 1970 in Qualitätsklassen geschätzt. Die erste Klassifikation wurde von PELLICO 1971 vorgeschlagen mit 4 Klassen. Dabei wurde jeder Baum ganz in eine Klasse eingeteilt.

Die einzelnen Klassen werden definiert:

Übersicht 56 Zusammenfassung der Regionen in Gruppen für $\lambda_{0.9}$

Gruppe I	Durch- schnitt	Gruppe II	Durch- schnitt	Gruppe III	Durch- schnitt	Gruppe IV	Durch- schnitt
05	0.59	20	0.63	30	0.70	23	0.80
08	0.60	15	0.64	27	0.71		
04	0.61	01	0.64	03	0.71		
14	0.61	12	0.64	28	0.71		
00	0.62	09	0.64	24	0.71		
18	0.62	11	0.64	21	0.72		
07	0.62	19	0.64				
06	0.62	02	0.65				
13	0.62	29	0.66				
31	0.63	26	0.66				
32	0.63	17	0.67				
10	0.63	25	0.67				
16	0.63	22	0.68				
Durch- schnitt	0.62		0.65		0.71		0.80

Übersicht 57 Zusammenfassung in Gruppen für die Gesamthöhe

Gruppe I	Durch- schnitt	Gruppe II	Durch- schnitt	Gruppe III	Durch- schnitt	Gruppe IV	Durch- schnitt
00	12.63	17	15.05	16	18.94	32	29.36
14	12.86	19	15.13	31	19.72		
30	13.16	23	15.21	18	20.05		
02	13.27	09	15.22	27	20.60		
05	13.35	04	15.78				
10	13.51	20	16.76				
08	13.90	01	16.83				
25	14.05	26	17.09				
06	14.05	03	17.30				
29	14.06	21	17,76				
15	14.07						
07	14.25						
12	14.26						
22	14.33						
24	14.38						
13	14.41						
28	14.77						
11	14.82						
Durch- schnitt	13.90		16.21		19.83		29.36

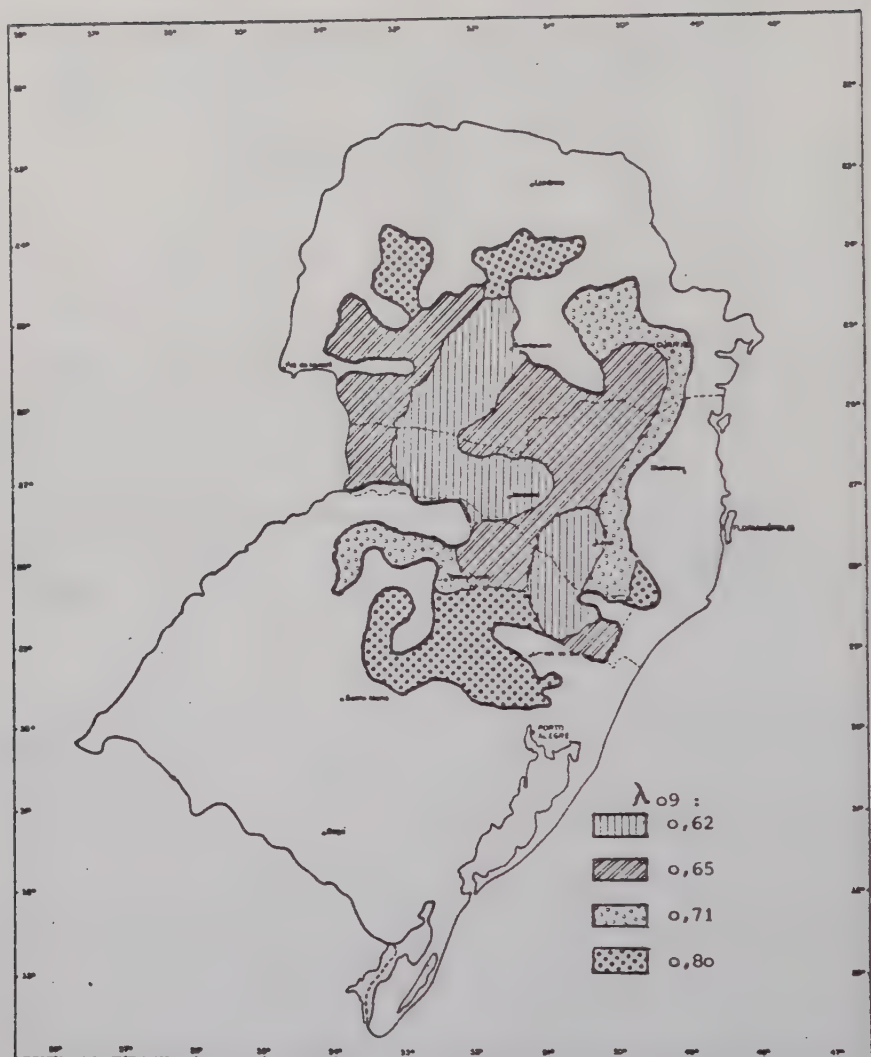


Abb. 5.3 Gebietsabgrenzung für die echte Formzahl λ_{09} (*Araucaria angustifolia*) im Süden Brasiliens.

- Klasse 1: Grader Schaft ohne äußerliche Defekte. Stämme hoher Qualität
- Klasse 2: Leichte Krümmung, wenig Äste oder elliptischer Querschnitt, jedoch vollständig gesundes Holz
- Klasse 3: Schäfte mit sichtbaren Deformationen, großen Ästen, krumm und mit reduzierter Ausbeutung
- Klasse 4: Schäfte -infolge von Insektenattacken- nicht nutzbar, sehr krumm. Die Ausbeutung von Holz sehr gering oder unmöglich.

In jüngster Zeit wurde diese Klassifizierung verbessert, da festgestellt wurde, daß besonders in den tropischen Regionen Qualitätsunterschiede entlang des Schaftes sehr oft auftreten können. Im unteren Teil der Bäume sind die Variationen sehr groß und so wurde eine Klassifizierung der ersten 4 Abschnitte von 1.50 m - ausgehend vom Stock bei 0,30 m vom Boden - vorgenommen. Diese Schätzung mit Hilfe einer Meßlatte von 6.30 m (Unterteilung bei 1.80, 3.30, 4.80 und 6.30) ermöglicht die Qualitätsschätzung nach den besprochenen Kriterien. Der Schaftteil über 6.30 m bis zur kommerziellen Höhe wurde nach den genannten Charakteristiken klassifiziert. Die Höhe, bei welcher eine Qualitätsänderung des Schaftes sichtbar ist, wurde gemessen (Insgesamt maximal 4 Höhen bis zu h_c). Diese Höhen wurden bezeichnet mit h_1 , h_2 , h_3 und h_4 . Eine Systematisierung dieser Klassifizierung wird die Schätzung der Qualität der Schäfte und die Einteilung der Massen für Ausbeutungsklassen erleichtern. Eine Darstellung der Klassifizierung wird in Abb.5.4 gegeben. Ein Beispiel für das Endergebnis wird erläutert für eine Baumartengruppe in der Inventur entlang der Transamazonica-Autobahn in Übers.58.

Ihre graphische Darstellung ist in Abb.5.5 gegeben.

Diese Klassifizierung kann nach und nach verbessert werden durch strengere Kriterien (z.B. Exzentrizität der Schäfte, Schätzung innerer Schäden usw.) Dies verlangt bei der Inventur natürlich grössere Ausgaben. Die jetzige Klassifizierung gründet sich nur auf sichtbare - in der Praxis leicht anzuwendende - Kriterien.

- Massentafeln und Produktionstafeln in natürlichen Wäldern.

Für die natürlichen Wälder existieren bis jetzt - infolge mangelnder Daten - keine zuverlässigen Massen- und Produktionstafeln. PRODAN 1977 stellte eine

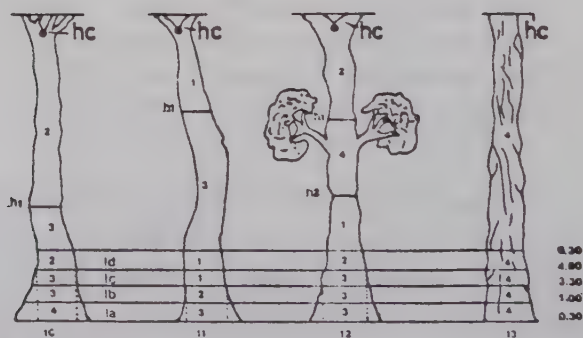
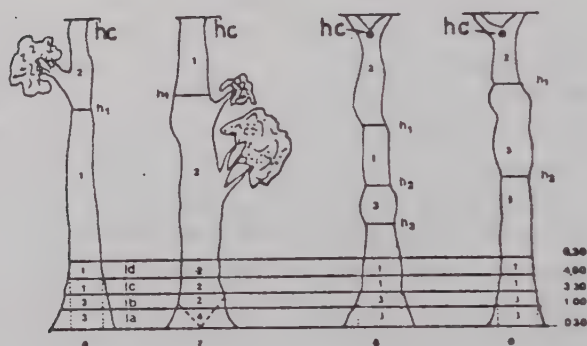
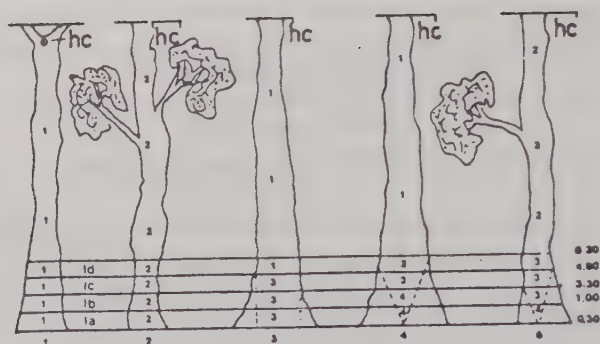


Abb.5.4 Bestimmung der Schaftqualität in tropischen Wäldern.

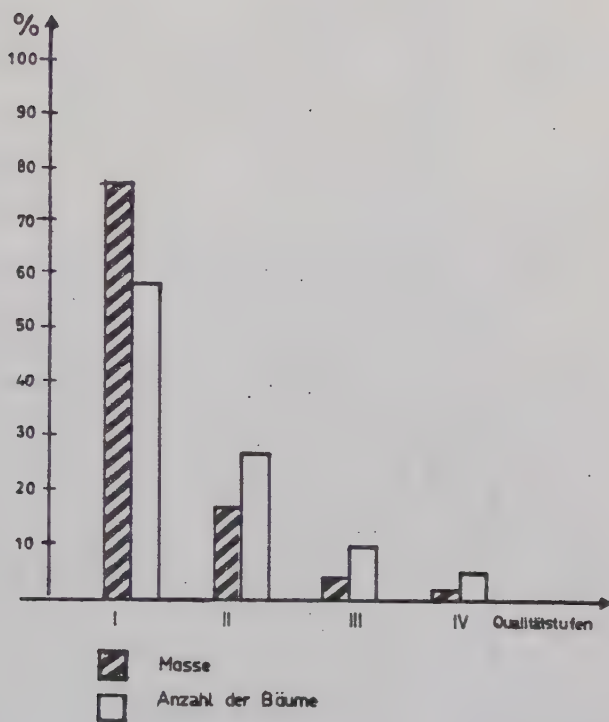


Abb. 5.5 Anteil des Volumens und der Baumzahl nach Qualitätsklassen. Beispiel aus der Inventur des Amazonasgebietes

Übersicht 58 Baumzahl und Volumen in m³/ha nach Qualitätsklassen

Baum- arten- gruppe	Handels- klassen	Anzahl der Bäume	Volumen m ³	Volumen pro Baum	% -Anteil der Qualitätsklasse							
					1		2		3		4	
					Vol.	Anzahl d. Bäume	Vol.	Anzahl d. Bäume	Vol.	Anzahl d. Bäume	Vol.	Anzahl d. Bäume
1	I	2.26	5.29	2.34	81	70	15	22	2	6	1	2
2	II	4.05	14.82	3.49	86	77	10	18	3	4	1	1
Total	I + II	6.31	20.11	2.91	84	74	12	20	2	5	1	2

erweiterte Form des -1948 von KRENN entwickelten- Konzepts dar. Diese Methode ist anwendbar für Baumartengruppen in den Tropen und müsste in Zukunft für die Amazonas-Region - besonders für die Gebiete mit nachhaltiger Wirtschaft- überprüft werden.

5.213 Überprüfung der kommerziellen Klassifizierung

Bei der Festlegung der Ziele einer Forstinventur wird nach dem Anteil der verwertbaren Baumarten auf der Fläche gefragt.

a) Die tropischen Wälder variieren in Bezug auf die kommerziell verwertbaren Baumarten sehr stark.

Diese Baumarten werden auf dem Markt in 4 bestimmte Gruppen eingeteilt:

Gruppe 1: Auf dem internationalen Holzmarkt gut eingeführte Baumarten (Export

" 2: Auf dem nationalen Holzmarkt gut eingeführte Baumarten

" 3: Nur auf dem nationalen Markt bekannte Baumarten (potentiell interessant für den Export

" 4: Keine Vermarktung. (Langfristig potentiell verwertbare Baumarten).

Diese Charakterisierung ist dynamisch. Der Übergang einer Baumart von einer Gruppe zur anderen ist abhängig von der Kenntnis der technologischen Eigenschaften und von der Möglichkeit einer integrierenden Industrialisierung sowie vom Fehlen der bereits bekannten Baumarten. Ein Beispiel dieser Klassifizierung ist in der Inventur der Region RIO BRANCO durch das RADAM-BRASIL-Projekt 1976 in Tab.59 gegeben.

5.214 Industrielle Charakterisierung

In dieser Charakterisierung der Baumarten werden die industriellen Nutzungsmöglichkeiten berücksichtigt. Sie sind in 3 große Gruppen aufgeteilt: Fertigprodukte, Hochbau, Schiffsbau.

Bei der Inventur werden die Baumarten nach dieser industriellen Verwertungsforderung in 3 Gruppen bewertet:

- 1. annehmbar, befriedigend x
- 2. gut xx
- und 3. ausgezeichnet xxx

Übersicht 59 %-Anteil der Massen, Baumzahl und Baumartenzahl nach Verwertungsklassen.

Region und antropogene Fläche	Unterregionen Sekundärvegetation		Verwertungsklassen			
			I	II	III	IV
Tropische dichte Wälder	Nieder- ebenen des Amazonas	V. o.R.	14.41	31.72	33.62	20.25
		N (Bäume)	15.38	28.87	30.49	26.26
		N (Baumarten)	21.05	22.37	22.37	34.21
Lichte Wälder	Nieder- ebenen des Amazonas	V. o.R.	13.85	29.38	23.72	32.90
		N (Bäume)	12.67	29.26	22.37	35.70
		N (Baumarten)	15.98	23.77	20.08	40.16
	Trockene Flächen des XINGU-Kompl.	V. o.R.	8.97	35.28	41.90	13.85
		N (Bäume)	7.65	30.59	41.18	20.59
		N (Baumarten)	16.67	37.50	26.39	19.14
	Aluvial- flächen des Amazonas	V. o.R.	15.34	24.65	20.06	39.95
		N (Bäume)	14.31	24.30	19.10	41.39
		N (Baumarten)	19.71	25.00	21.63	33.65
Antropogene Flächen	Sekundär- vegetation	V. o.R.	9.40	39.46	24.19	26.86
		N (Bäume)	11.72	28.97	28.97	30.34
		N (Baumarten)	9.33	26.37	22.67	41.33

In Anlage 1 sind alle inventarisierten Baumarten des AMAZONASgebietes aufgelistet und nach diesen Kriterien eingeteilt. Danach können die Volumina für die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten geschätzt werden. Ein Beispiel dafür ist in Übers.510 nach der Inventur der Region RIO BRANCO durch das RADAM-BRASIL-Projekt 1976 gegeben.

In Abschn.2 wurde die Optimierung der Gruppenstichprobe und ihre Anwendung bei der Inventur in tropischen Wäldern besprochen. Im Zusammenhang damit muß noch untersucht werden:

Die Durchführung einer Inventur mit rechteckigen Einheiten mit Vollaufnahme, die dann erlaubt, Kombinationen von Einheiten auf 400 m^2 und mehr zu machen, um den Einfluß der Fläche und der Anzahl der Einheiten auf die Größe der Gruppen zu bestimmen.

Ausgehend von diesen Daten wird es möglich sein, die Funktionen

$$\delta = f(A) \text{ für } 2 < M < 30 \text{ und}$$

$$\delta = f(M) \text{ für } 400 < A < 10.000 \text{ m}^2 \quad \text{eindeutig zu bestimmen.}$$

Diese Funktionen dürften die Ausführungen in dieser Dissertation begründen.

Übersicht 510 Klassifizierung der Massen nach Verwendungskategorien.

Region und antropogene Flächen	Unterregionen Sekundärvegetation	Stehende Nutzungsmasse (m ³ /ha)	Schnittholz		Zellstoff und Papier	Furnier und Platten	Verwendung bis jetzt unbekannt
			Für Export	Für Inland			
Tropische dichte Wälder	Nieder- ebenen des Amazonas	117 451	16 923	76 746	48 484	22 814	23 781
	Nieder- ebenen des Amazonas	100 919	13 988	53 638	35 177	27 517	33 294
Lichte	Trockene Flächen des XINGU-Komplexes	79 570	7 133	61 413	35 491	17 026	11 023
Wälder	Aluvial- flächen des Amazonas	92 147	14 136	41 203	33 811	23 512	36 808
	Sekundär- vegetation	78 346	7 411	49 891	34 351	17 872	21 044

N.B. 1) Die Angaben müßten um 15% erhöht werden, um auch die Durchmesserklassen über 30 cm zu berücksichtigen

2) Nur die Stärken über d_{1.3} = 30 cm wurden berücksichtigt.

6. Zusammenfassung

In der Dissertation habe ich die - in den letzten 10 Jahren bei der Waldinventur in Brasilien erworbenen- Erfahrungen ausgewertet.

Die beschriebenen Inventuren wurden in den tropischen Regenwäldern des AMAZONASgebietes und in Südbrasilien in subtropischen Wäldern, Araucaria-Wäldern, Cerrado-Wäldern und in Pinus-und Eucalyptusplantagen gemacht.

Die Arbeitszielsetzung war sehr breit. Es sollten einerseits Waldinventurmethode n verbessert werden und andererseits sollte sie als grundlegendes Dokument der Nationalforstinventur in Brasilien dienen.

Die Arbeit ergab mehrere Erkenntnisse:

Ein Zustandsbericht über die Forstsituation Brasiliens für die verschiedenen geographischen Regionen unter detaillierter Behandlung des Staates PARANA.

Unter der Annahme einer idealen Waldbedeckung von 30 % in allen Regionen würde in den 3 Regionen: Süd, Südosten und Centrum-West heute ein erhebliches Defizit der Waldbedeckung festgestellt werden, das durch eine extensive Rodung der Naturwälder entstand. Verursacht war dies dadurch, daß die Forstpolitik im Lande sehr liberal ist und in den staatlichen Wäldern keine Forsteinrichtung - im Sinne des Nachhaltigkeitsprinzipes-existiert. Diese wäre die einzige Möglichkeit, die Naturwälder und den unbedingt notwendigen Waldanteil zu erhalten und die allgemeine Umweltbilanz günstig zu gestalten.

In einer Analyse der sich aus dem aktuellen Zustand ergebenden Probleme werden diese erklärt wie z.B. unkontrollierte Erosion, Überflutungen, lange Trockenzeiten und Frost, Beschädigungen der Landschaft, Sterben von Tieren und Pflanzen, usw.

Eine durchgreifende Politik im Sinne der Aufwertung der Sozialfunktionen des Waldes und die Einführung einer konservierenden Waldpolitik wird vorgeschlagen.

Das Nachhaltigkeitsprinzip und andere - in den industrialisierten Ländern Europas schon lange beachteten - forstlichen Prinzipien sollen in Brasilien

zur Erhaltung des natürlichen Waldreichtums eingeführt werden. Diese Erkenntnis ist von höchster Bedeutung für das Überleben der Wälder im brasilianischen AMAZONASgebiet.

Einige spezifische Probleme der Waldinventur in unserer heutigen Entwicklungssituation wurden aufgezeigt, wie z.B. der Mangel an genauen Karten für die Stratifikation und für die Luftbildinterpretation bei der die Waldflächen in allen Strata geschätzt werden.

Die - auf die Karten zurückzuführenden-Fehlerquellen wurden ausführlich diskutiert und die kartenmäßige Darstellung der Waldcharakteristika erörtert. Die Einschätzung dieser Fehlerquellen wird z.Zt. in CURITIBA untersucht.

Der quantitative Gewinn von Stratifikationsresultaten - im Vergleich mit Zufallsstichproben - wurde errechnet. Z.B. die Baumart *Araucaria angustifolia* weist in der Waldinventur ganz Südbraziliens für die Optimumsverteilung - im Vergleich mit der Zufallsstichprobe - eine Fehlerreduktion von 29,67 % aus. Die Stratifizierung in schon bewirtschafteten natürlichen Wäldern war so vorteilhaft, daß sich daraus ihre umfassende Anwendung ergab. Eine Pilotinventur in noch nicht inventarisierten Gebieten ist vorteilhaft und empfehlenswert zur Schätzung der Optimumsverteilung.

Zur Massenbestimmung wurde eine Synthese von 4 verschiedenen Methoden aufgezeigt. (Formfaktor, Massenfunktionen, unechte Ausbauchungsreihe und echte Ausbauchungsreihe).

Für die Massenfunktion wurde die Beziehung :

$$d_q^2 = f(d)$$

vorgeschlagen, wobei:

d_q = der quadratische Durchschnittswert eines Baumes, ermittelt über die HOHENADLsche Ausbauchungsreihe

Die Beziehung wurde in der allgemeinen Massenfunktion :

$$v = \frac{\pi}{4} d_q^2 \cdot h$$

angewandt.

Daraus ergeben sich folgende Gleichungen:

$$v = h (a+bd) \quad (6.1)$$

$$v = h (a+ bd + cd^2) \quad (6.2)$$

Diese Massenfunktionen eignen sich auch zur Bildung von Tarifen.

Gleichung (6.2) liefert mit Araucaria-Daten sehr gute Ergebnisse.

Eine neue Methode zur Berechnung von Teilvolumen bestimmter Abschnitte unterschiedlicher Länge mit transformierten Formkurven von echten Ausbauchungsreihen wurde vorgeschlagen. Diese Methode hat wegen ihrer Einfachheit und Anpassungsfähigkeit der vorgeschlagenen Funktionen und der teilweisen Massenermittlung durch Integration viele Vorteile.

Mit den vorhandenen Daten konnte erstmalig eine umfassende Auswertung der echten Formzahl von Araucaria in ganz Südbrasilien gemacht werden. Die Ergebnisse erlaubten, verschiedene Regionen, die mit der regionalen ökologischen Variation eng verbunden sind, einzugrenzen.

Für tropische Wälder wurde die Optimierung der Gruppenstichprobe, die seit 1970 vom Verfasser empfohlen wurde, untersucht.

Diese Stichprobenverfahren sind zur Erreichung des Gleichgewichtszustandes in den tropischen Wäldern- besonders in den Wäldern der Hochebene- sehr wirksam. Im Zusammenhang mit der Optimierung dieses Verfahrens mussten noch folgende Fragen untersucht werden:

Die Form der Aufnahmeeinheiten in der Gruppe

Die Einheiten wurden zur Massenermittlung in Quadratform angeordnet. Zur Baumartenidentifizierung wurden Streifen von 20 m Breite, mit unterschiedlicher Länge in Abhängigkeit von der Gruppengröße gewählt.

Optimierung der Größe und der Anzahl der Einheiten in der Gruppe

Die Optimierung der Anzahl der Einheiten ist abhängig von ihrer Größe.

Untersuchungen von Beziehungen wie

$c_v = f(A)$ wobei: A = die Fläche der Aufnahmeeinheiten

$\delta = f(A)$ wobei: δ = Korrelationskoeffiz. innerh.d. Gruppe

$c = f(\text{Meß- und Reisekosten, } c_v, \delta, \text{ festgelegte Genauigkeit bei erwünschter Überschreitungswahrscheinlichkeit, Kostenquotient und Anzahl der Einheiten in der Gruppe})$

wobei: C = gesamte Stichprobenkosten .

Für die Optimumsgruppen ergeben sich verschiedene Alternativen.

Die Effektivität eines Arbeitstages wurde als grundlegende Entscheidungsmöglichkeit berücksichtigt. Die Gleichung (26.48) wurde aus den Aussenarbeitstagen - unter Berücksichtigung von 3 Schwierigkeitsstufen- ermittelt.

Unter Beachtung aller Faktoren wurde eine Gruppe von 8 bis 24 Einheiten von je 400 m^2 - abhängig von der Zugänglichkeit-(s. Abb. 26.14) definiert.

Optimierung der Entfernung zwischen den Einheiten einer Gruppe

Dieses Problem wurde durch die Beziehung:

$$s_i^2 = f(D)$$

gelöst, wobei D = Entfernung zwischen den Einheiten innerhalb einer Gruppe. Die Untersuchung zeigt, daß sich ab 100 m der Varianzwert stabilisiert. Dies ist das Optimum für die Entfernung zwischen den Einheiten.

Für die Plantageninventur wurde ein Stichprobensystem vorgeschlagen, das nicht nur die Zielsetzung erreicht, sondern auch für die Forsteinrichtung zahlreiche Informationen liefert.

Das Stichprobensystem umfaßt:

Die Stratifizierung

Die Population wird nach Wachstumsstufen stratifiziert. Sie soll für alle Altersklassen bis zur Umtriebszeit in höchstens 10 Strata eingeteilt werden. Damit wird eine Einteilung der Population in gleiche Teile der Masse und ein Minimum der Mittelwertfehler erreicht.

Unterstichproben bei Auswahleinheiten verschiedener Größe

Für jedes Stratum wird ein Unterstichprobenverfahren mit Primäreinheiten unterschiedlicher Größe vorgeschlagen. Dieses Verfahren bringt Flexibilität in das System und ist günstig für die Forsteinrichtung.

Die Stichprobenverteilung entspricht den Wahrscheinlichkeiten proportional zur Größe (WpG), sodaß ein Varianzminimum erreicht wird.

Partielle Wiederholungsstichprobe (pWs)

Bei periodischen Inventuren kann das pWs-Verfahren vorgeschlagen werden.

Es ist in Brasilien mit Erfolg angewandt worden.

Der Stichprobenumfang besteht bei jeder Inventur aus 50 % dauernden Probestflächen und 50 % neu aufgenommenen Flächen. Die dauernden Einheiten sollen zur Zuwachsermittlung und Leistungskontrolle benutzt werden.

Die Frage des Zeitabstandes zwischen 2 Inventuren

Die Zeitspanne von 3 Jahren wurde wegen des schnellen Wachstums-hauptsächlich in Eucalyptus-Plantagen - vorgeschlagen.

Als allgemeine Schlußfolgerung wurde ein Konzept für die Nationalforstinventur Brasiliens präsentiert.

Das Stichprobenverfahren bzw. die Gruppenstichprobe wurde als Trakt angelegt, sodaß die Daten alle 10 Jahre durch partielle Wiederholungsstichproben (pWs) erhoben werden können.

Die Inventur wird bei der Bundesforstverwaltung für alle geographischen Regionen koordiniert. In den Inventurplan sollen die Universitäten mit forstlichen Fakultäten als wissenschaftliche Berater hinzugezogen werden.

7. RESUMO

O presente trabalho contém uma síntese de minha experiência adquirida no decurso dos últimos 10 anos de atividade no campo de inventário florestal no Brasil. Os inventários que subsidiaram as opiniões aqui emitidas foram executadas em florestas tropicais da amazônia, em florestas sub-tropicais e de araucária na região sul do país, em regiões do cerrado e nas florestas plantadas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. também na região sul do Brasil.

O escopo do trabalho foi amplo e algumas novas idéias foram apresentadas visando melhorar não somente a condução dos inventários como também promover sua importância como instrumento básico para a tomada de decisões na política florestal através da instituição do Inventário Florestal Nacional no Brasil. As contribuições principais trazidas pelo trabalho foram as seguintes:

1. Um relato da situação florestal atual no Brasil, por regiões geográficas e complementado com detalhes sobre o Estado do Paraná. Considerando-se um total desejável de 30% de cobertura florestal distribuída equanimemente por região, três regiões: sul, sudeste e centro-oeste apresentam hoje déficit acentuado causado pela intensiva exploração das florestas nativas. A opinião emitida na Dissertação conclui existir uma política florestal muito liberal no país, sem uma efetiva ação de manejo de florestas nativas públicas, a única forma capaz de garantir o equilíbrio das florestas naturais e da cobertura mínima necessária para assegurar um balanço ambiental geral. Está incluído no contexto, uma análise dos problemas resultantes da atual situação florestal, como erosão incontrolada, anormalidades resultantes de fatores climáticos como enchentes, secas prolongadas e geadas, deterioração da paisagem, extinção de espécies da fauna e flora etc. Uma enérgica ação no sentido de enaltecer os valores sociais das florestas e a

implantação de uma política mais conservacionista foi sugerida.

O princípio de rendimento sustentado e outros princípios florestais tradicionalmente consagrados nos países desenvolvidos da Europa precisam ser largamente defendidos no Brasil como uma missão preservadora dos seus recursos florestais. Esta sensibilidade é de importância crucial para a sobrevivência da Amazônia Brasileira.

2. Especificamente sobre a metodologia para realização de inventários florestais salientou-se alguns problemas comuns de nossa situação atual de desenvolvimento, como existência de mapas capazes de permitir uma precisão aceitável no caso especial de estratificação, onde se necessita proceder uma fotointerpretação e consequentemente avaliação de áreas dos estratos. Foi apresentado uma detalhada discussão sobre as fontes de erro oriundas de mapas e transferência de detalhes florestais sobre estes. Um estudo sobre a avaliação destes erros vem sendo conduzido em Curitiba, porém ainda não concluído.

3. Subsequentemente foi apresentado uma avaliação quantitativa dos ganhos resultantes da estratificação calculados em relação à amostragem aleatória simples. Em exemplo apresentado para o inventário da espécie *Araucaria angustifolia* realizado em toda a região sul do Brasil resultou para a alocação ótima uma redução de 29,67% para o erro padrão da estimativa em relação à amostragem inteiramente aleatória. A estratificação em florestas nativas já exploradas apresentou vantagens substanciais, que asseguram sua recomendação irrestrita. Um inventário piloto em áreas ainda não inventariadas é vantajoso e recomendável, porque permite uma aproximação à alocação ótima da amostragem.

4. Outro aspecto de importância analisado em geral foi o de determinação volumétrica. Uma síntese de quatro métodos foi apresentada, incluindo as soluções através de fator de forma, equações volumétricas, séries absolutas de forma e séries relativas de forma. Particularmente sobre o método de equações volumétricas foi sugerido a aplicação da relação $d_q^2 = f(d)$, onde

d_q = diâmetro quadrático das árvores obtido através das séries relativas de Hohenadl e que aplicado na equação genérica de volume $V = \frac{\pi}{4} \cdot d_q^2 \cdot h$ resultou nas equações:

$$V = h(a + bd) \quad (6.1)$$

$$\text{ou} \quad V = h(a + bd + cd^2) \quad (6.2)$$

que permitem gerar tarifas de dupla entrada. A aplicação da equação (6.2) a dados da espécie *Araucaria angustifolia* produziu excelentes resultados. Adicionalmente foi sugerido um novo processo para determinação de volumes parciais através de curvas de forma transformadas resultantes dos dados da série relativa de Hohenadl. Tal processo apresenta vantagens pela simplicidade de ajustamento das funções propostas e cálculo dos volumes parciais através de integração.

Foi ainda efetuado um amplo estudo sobre a forma natural da espécie *Araucaria angustifolia* em todo sul do Brasil, cujos resultados permitiram setorizar as regiões de sua variação, que demonstraram estar altamente correlacionada com as variações ecológicas regionais.

5. No caso das florestas tropicais, um estudo mais amplo foi apresentado visando atingir uma otimização do processo de amostragem em grupos, que vem sendo recomendado por mim desde 1970 para inventários em florestas tropicais nativas inexploradas. Dada a condição de equilíbrio destas florestas, principalmente na floresta de terra firme, este processo assegura uma alta eficiência na sua aplicação. A otimização do processo constitui de quatro fases distintas:

5.1 Definição da forma dos elementos que compõem o grupo.

Neste particular foram sugeridos elementos de forma quadrangular para a avaliação volumétrica e faixas retangulares de 20 m de largura e diferentes comprimentos, dependendo do tamanho do grupo, para identificação de espécies.

5.2 Otimização do número e tamanho dos elementos num grupo

A otimização do número de elementos está intimamente relacionada ao tamanho destes. Estudos de relações como $cv = f(A)$,

onde A = área dos elementos, $\delta = f(A)$, onde δ = coeficiente de correlação intra-conglomerados, $C = f(\text{Custos de medição e viagem, cv, } \delta, \text{ precisão especificada, probabilidade desejada, razão de custos e número de elementos no grupo})$, onde C = Custo total da amostragem, a qual permite sejam avaliadas diversas condições para a combinação ótima do grupo. Foi ainda considerada a condição efetiva de um dia de trabalho, como base para tal decisão. A função (26.48) foi sugerida para se determinar o tempo gasto em um dia de trabalho de campo. Tres condições adicionais foram consideradas para o dimensionamento dos grupos tomados em função do grau de facilidades de acesso na área inventariada. A opção final adotada, julgando-se todos estes fatores combinados foi um grupo de elementos de tamanho 400 m^2 distribuídos em número de 8 a 24, dependendo do acesso na área como definido na Fig. 26.14.

5.3 Otimização da equidistância entre elementos no grupo

Este problema foi resolvido através da relação $s_1^2 = f(D)$, onde D = Distância entre elementos e s_1^2 = variância entre elementos dentro de um grupo. Tal avaliação resultou que, a partir da distância de 100 m, a variância tende a se estabilizar no seu valor máximo, atingindo então seu ótimo em relação à distância entre elementos.

6. Relativo ao inventário em plantações, tentou-se sugerir neste trabalho um sistema de amostragem composto da combinação de vários processos capazes de atender simultaneamente a avaliação de estoques e fornecer informações contínuas para fins de planejamento do seu manejo. Foi sugerido um sistema composto de tres partes assim constituídas:

6.1 Estratificação

A estratificação das áreas reflorestadas será efetuada proporcional ao crescimento. Um máximo de 10 estratos deve ser obtido em toda a população desde o plantio até a rotação. Esta decisão implica em dividir a população total em intervalos iguais da variável volume, o que minimiza a variância da média.

6.2 Amostragem em dois estágios

Em cada estrato foi sugerido aplicar uma amostragem em dois estágios com unidades primárias de tamanhos desiguais e com uma sub-amostragem dentro destas unidades primárias. Este processo traz grande flexibilidade ao sistema, permitindo atender as necessidades de dados necessários para os planos de manejo. A distribuição desta amostragem é feita segundo o método ppt - probabilidade proporcional ao tamanho - que resulta na variância mínima dentro dos estratos.

6.3 Amostragem com repetição parcial (ARP)

Considerando-se a periodicidade dos inventários, foi proposto o processo ARP, que vem sendo testado no Brasil com sucesso. Tal organização amostral implica em fixar 50% das amostras em cada unidade primária amostrada e 50% destas permanecem aleatórias em cada inventário sucessivo. As amostras permanentes serão utilizadas para os fins de estudos de crescimento e produção destas florestas.

6.4 Finalmente foi considerado o problema do intervalo de tempo ótimo entre inventários e concluiu-se que o tempo ótimo está em torno de 3 anos, dado o rápido crescimento principalmente em reflorestamentos de *Eucalyptus* e *Pinus*.

7. Como fecho do trabalho foi apresentado uma sugestão para a instituição de um Inventário Florestal Nacional no Brasil (IFN), cuja estrutura baseia-se na aplicação do processo de amostragem em grupos "Track System", organizados de tal forma a permitir avaliação sucessiva cada 10 anos dentro do conceito de amostragem com repetição parcial (ARP). O inventário seria coordenado em nível nacional com atividades rotativas em todas as regiões geográficas do país. A execução sugerida prevê uma organização mista, onde as Universidades que possuem ensino florestal atuariam como formuladora e consultora dos trabalhos e a execução seria efetuada dentro de cada região geográfica.

8. SUMMARY

The present work contains a synthesis of my experiences acquainted during the past 10 years of activities doing forest inventories in Brasil.

The inventories, which supported the opinions presented here, were made in the tropical rainforests in Amazon, in the sub-tropical and araucaria forest in southern part of the country, in Savanna areas, and in Eucaliptus spp and Pinus spp plantations also in south of Brazil.

The scope of the work was very broad and attempted to report new ideas in order to improve not only the inventory techniques, but also to analyse their importance as a basic document for decision making through the institution of a National Forest Inventory in Brazil.

The main contributions of the work were the following:

Presentation of the actual forest situation by geographical regions of Brazil with special emphasis and detailed presentation of data from Parana State. Considering a desired forest cover of 30% equally distributed over each region, three of them: south, southeast and middle-west presented great deficit caused by intensive exploitation of the native forests. It is my opinion that there exists a very liberal forest policy in the country, without having an effective national forest management, the only way to assure the survival of the natural forests and maintenance of a minimum forest cover needed for the environmental balance. In the text an analyses is included of the consequences brought by the extreme reduction of the forest cover; as erosion, climatic disturbances as overflows, long droughts and frosts, landscape deterioration, extermination of some animal and botanical species etc. A strong action should be made to stress the importance of the social values of the forest resources and to increase substantially the conservation policy in Brazil.

The sustained Yield Principle and other forest principles, traditionally known in Europe, should be broadly defended as a basic mission to preserve the native forest resources in Brazil. This sensibility is very important to guarantee the survival of the amazonian rain forests.

On the methodology to conduct forest inventories some problems were discussed related to the actual stage of our development, as for example existence of good maps to assure an acceptable precision for stratification, where it is necessary to perform a photointerpretation and consequently evaluation of strata areas. A detailed discussion was presented on sources of errors from maps and transfer of forest photointerpretation details on to them. A study on quantification of these errors is been carried out as a research project in Curitiba.

A quantitative evaluation of the gain on stratification was presented, estimated in relation to simple random sampling. Example was presented from a brazilian pine inventory carried out in the entire southern region of Brazil, which resulted for optimum allocation in the reduction of 29,67% for the standard error of estimate in relation to simple random sampling. Stratification of native exploited forests resulted in great advantages, which assured its recommendation without restriction. A pilot inventory in areas not yet inventoried is recommended in order to make the calculation of sampling intensity with optimum allocation possible.

Another aspect of basic importance generally analysed in the work was the alternatives of volume estimation. A synthesis of four procedures was reported including the solutions through form factor, volume equations, absolute form series (from sections of absolute length) and relative form series (from sections of relative length). Particularly for volume equations, the use of the relation $d_q^2 = f(d)$ was suggested, where d_q = quadratic mean diameter of the relative sections of one tree obtained through the Hohenadl method. This quantity when applied to the general volume equation $V = \frac{\pi}{4} d_q^2 h$ resulted in the following volume equations:

$$V = h(a+bd) \quad (6.1)$$

$$\text{or } V = h(a+bd+cd^2) \quad (6.2)$$

which made it possible to construct double entry volume tables. The application of equation (6.2) to data of brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) produced excellent results. A new procedure was also suggested to evaluate partial volumes through generation of transformed taper functions from a normal Hohenadl relative series. This procedure is easier to work with, due to simplicity of adjustment of the proposed

functions and also due to easy partial volume calculation by integration. A broad study was also conducted on form evaluation of the Brazilian pine in southern of Brazil, whose results made it possible to distinguish regions highly correlated with regional ecological variations. See Fig. 5.3.

For the tropical rain forests, a broader study to achieve an optimization of the Cluster Sampling technique was presented. This sampling technique has been applied and recommended by me since 1970 in forest inventories of tropical rain forests. Due to ecological balance of these forests, mainly in high-land forests, cluster sampling results in high statistical efficiency. The optimization of this technique is presented in four distinct phases:

Definition of the Form of Elements in a Cluster.

For this part it was suggested the square form to evaluate volume and strips of 20m width and different lengths, depending on the size of the elements, for species identification.

Optimization of Number and Size of Elements in a Cluster.

The optimization of the number of elements is very much related to their sizes in a cluster. Studies of the relationships $c_v = f(A)$ where A = Area of the elements, $\delta = f(A)$ where δ = intracluster correlation, $c = f(\text{travelling and measuring costs}, c_v, \delta)$, some specified precision, desired probability, cost ration and number of elements in a cluster) where C = total sampling cost, makes it possible to evaluate different combinations of clusters. The effective workday was considered as a basic for such decision making. The equation (26.48) was suggested to determine the total time needed in one day of field work. Three additional conditions were considered for the final organization of the clusters considering the access factors in the inventoried areas as a limitation for one day of field work. The final proposed cluster, was a limit with elements of 400 m^2 and varying from 8 to 24 in a cluster, depending on access factors as showed in Fig. 26.14.

The optimization of distance between elements in a cluster was solved through the evaluation of the relation $s_1^2 = f(D)$ where D = distance between elements and s_1^2 = variance between elements within a cluster. Such relation showed that after 100m between elements, the variance s_1^2 stabilizes showing therefore an optimum distance to be used.

For plantation areas it was suggested an integrated sampling system composed of three different levels of sampling in order to achieve a multiple use information from only one inventory. This means stock evaluation and the establishment of a grid of permanent sample plots to give the basic information for yield studies and for management planning purposes. It was suggested a sampling system as follows:

Stratification of forest areas proportional to growth. A maximum of 10 strata should be delineated in the population for one species from 1st year of age up to rotation period. This decision implies dividing the population in equal intervals for the variable volume in order to minimize the mean variance.

In each stratum it was suggested to apply a two stage sampling with primary units of unequal sizes and a sub-sampling within each primary unit. This sampling scheme brings great flexibility to the inventory design, exactly the necessary device to attain the management needs. The sampling allocation is distributed according to pps - probability proportional to size - which results in minimum variance within the stratum.

Considering the intervals between inventories in the same areas, it was strongly recommended the sampling with partial replacement - SPR, which has been introduced by me since 1974 in Brazil. The sampling intensity is planned to be 50% of permanent sampling units in each selected primary unit and the other 50% remained as random units in each successive inventory.

Finally the problem of optimum interval between inventories was considered, which for one condition showed to be around 3 years due to the very fast growth specially in Eucalyptus and Pine plantations.

A proposal to establish a National Forest Inventory in Brazil (IFN) was also presented, which has been organized through Sampling with Partial Replacement (SPR), where each sampling unit is a cluster arranged as a Track, so that every 10 years the inventory is repeated in the same area. The inventory should be coordinated at a national level and successively conducted in each geographical region of the country. The planning and control of the work should be done with the coordination of all Universities with forestry education as consultants and supporters of the project. The Brazilian Forest Service would coordinate the work by a decentralized organization in all geographical regions.

9. RESUMÉE

Les Inventaires forestiers en BRÉSIL

Recents developpements et leur importance pour une
économie forestière moderne et conservative du BRÉSIL

Dans la dissertation présente je me suis servi de mes expériences que
j'ai faites dans les inventaires forestiers en BRÉSIL -

Les inventaires mentionnés dans le présent travail ont été effectués
dans les forêts pluvieuses tropicales de la région AMAZONIQUE, dans le SUD
du Brésil (des forêts subtropicales) dans les Forêts de l' ARAUCARIA, dans
les forêts des Savannes (CERRADO) et dans les plantations d' espèce du
Pin et de l' EUCALYPTUS.

Les objectifs du travail sont très largs. J'ai tâché de présenter quelques
apports pour un progrès des méthodes de l'inventaire forestier , en même
temps la présente dissertation peut être servir comme document pour l'Inven-
taire Forestier National de l'avenir.

On peut registrer plusieurs resultats scientifiques issues du présent Travail:
La situation forestière dans les diverses régions du BRÉSIL avec considéra-
tion spéciale de l'État fédéral de PARANA.

Si on prend 30 % comme proportion idéale de la surface des forêts en rapport
avec la surface totale d'une région , on constate pour les trois régions:

	du Sud
	du Sud-Est
et	du Centre-Ouest

un déficit considérable , qui est le résultat du défrichement extensif
des forêts naturelles.

La cause de cette exploitation presque totale des forêts dans le Sud de Brésil
est la politique forestière trop libérale et le manque de l'aménagement
des forêts dans le principe du rapport soutenu et de continuité .

Et pourtant ce serait la seule possibilité de sauver les forêts naturelles
et de garder un pourcentage des forêts nécessaire pour une protection efficace
de l'environnement.

Puis est présenté une analyse des problèmes des dommages et des catastrophes qui sont causés par l'état actuel des forêts : d'érosion incontrôlable, de longues périodes de sécheresse et de froids, des inondations de disparition des plantes et d'animaux, des graves dommages du paysage etc.

Une plus haute considération des fonctions sociales des forêts et une politique forestière de conservation doivent être introduites dans la politique du pays.

Le principe du rapport soutenu de la continuité et d'autre principes d'économie forestière consacrés déjà de long temps dans les pays industriels de l'Europe doivent être introduits en Brésil pour sauver et conserver la richesse forestière naturelle. Cette conception est de la plus grande importance pour le salut des forêts amazoniennes.

Des difficultés spécifiques de l'inventaire forestière dans la situation présente comme: le manque des cartes exactes pour la stratification et pour l'interprétation des aerophotographies pour déterminer la surface des strates sont présentées.

Les erreurs dues aux cartes et les possibilités de représenter des caractéristiques des forêts sur les cartes sont discutés en relation avec les travaux en cours de CURITIBA.

La réduction de l'erreur moyen de l'inventaire due à la stratification monte pour l'inventaire d'Araucaria angustifolia dans le Sud du Brésil à 29,67 % en comparant l'allocation optimale des unités d'échantillonnage avec la répartition complètement aléatoire.

La stratification dans les forêts naturelles en exploitation a été si avantageuse que l'application en fut généralisée. Un inventaire pilot dans les forêts non inventariées est avantageux pour l'estimation de la répartition optimale.

Une synthèse de quatre méthodes pour la détermination des volumes ont été présentées (coefficient de forme, fonctions volumétriques, les quotients de forme à distances absolues, les quotients de forme à distance relatives.

Comme fonction volumétrique on a recommandé la formule

$$d_q^2 = f(d)$$

et
$$v = \frac{\pi}{4} d_q^2 \cdot h$$

(d_q = la moyenne quadratique des diamètres du fût en usant des quotients de forme d'après HOHENADL)

Il en résulte les équations suivantes:

$$v = h (a + bd)$$

$$v = h (a + bd + cd^2)$$

qui sont très favorables pour la construction des tarifs de cubage spécialement pour *Araucaria angustifolia*.

Pour le cubage des billons l'auteur a développé la méthode des courbes de forme transformées.

Cette méthode est très élastique et tout à fait simple. La détermination partielle du volume du fût par intégration est très avantageuse.

Avec les données de l'inventaire pour *Araucaria* l'auteur a distingué plusieurs régions avec coefficient de forme différents.

Pour les forêts tropicales l'optimisation de l'échantillonnage en groupes a été recherché. Cette méthode d'échantillonnage importante pour établir l'état d'équilibre des forêts tropicales doit être généralisée.

Avec le problème de l'optimisation d'autres questions ont fait l'objet de la recherche:

- La forme de l'unité d'échantillonnage dans la groupe
- l'emplacement des unités en forme de carré
- des bandes large de 20m et de longueur variable pour l'identification des espèces d'arbres
- Optimisation de la grandeur et du nombre des unités dans la groupe
- Recherches sur les relations:

$$c_v = f(A) \quad \text{où } A = \text{la surface de l'unité}$$

$$\delta = f(A) \quad \text{où } \delta = \text{le coefficient de corrélation dans la groupe}$$

$$c = f \quad (\text{les dépenses pour les travaux en terrain, pour le déplacement, l'erreur d'échantillonnage fixée en relation avec le seuil de probabilité choisi, le nombre d'unités dans la groupe.})$$

Pour les groupes optimales on reçoit plusieurs alternatives.

Le rendement d'un jour de travail a été considéré comme variable importante pour les décisions à prendre.

Avec toutes les considérations de ce genre on est arrivé à la formation des groupes avec 8-24 Unités de 400 m^2 en dépendance de l'accessibilité du terrain.

En même temps la relation entre la distance entre les unités de la groupe et la variance montre que celle-ci prend une valeur approximativement constante pour une distance de 100 m, qui correspond donc à une valeur optimale.

Pour les forêts plantées l'auteur a élaboré un système d'échantillonnage qui procure des informations nombreuses et pour l'aménagement régulier des forêts. Ce système comprend:

- La stratification. La population à inventarier doit être stratifiée après des classes égales à l'accroissement (production) des peuplements. Le nombre maximal des strates ne doit dépasser le nombre 10. Par ce procédé la population est divisée en strates avec volumes égaux ce qui conduit à une valeur minime pour l'erreur d'échantillonnage.

- Sous-échantillonnage avec unités de largeur différente. Ce procédé se traduit dans une flexibilité plus grande dans la pratique et apporte des avantages pour l'aménagement courant.

La répartition des unités correspond aux probabilités proportionnelles au largeur et au minimum de la variance.

- La répétition partielle de l'échantillonnage (RPE)

En cas d'inventaires périodiques on a appliqué avec succès dans le Sud de Brésil le procédé RPE.

A chaque inventaire 50 % des unités sont d'un caractère permanent et vont être remesurées et 50 % des unités sont choisies et mesurées de nouveau.

Les unités au caractère permanent utilisées pour le calcul de l'accroissement d'après le principe de la Méthode du Contrôle.

Le délai de temps entre deux inventaires comprend 3 ans pour les plantations d'Eucalyptus.

Comme conclusion générale l'auteur présente une conception pour un inventaire forestier national du Brésil. L'échantillonnage en groupes doit être organisé en "tracts". Chaque unité permanente sera remesurée au bout de 10 ans.

L'inventaire forestier national doit être coordonné par l'autorité forestière fédérale pour chaque région géographique.

Les universités avec enseignement forestier doivent participer comme consultants scientifiques.

10. LITERATURVERZEICHNIS

1. ALLEN, P.E.T. 1975 The use of Side Looking Airborne Radar Imagery for Tropical Forest Surveys. FAO, Rome, 60 S.
2. ALTHERR, E. 1953 Vereinfachung des Hohenadlschen Massen-ermittlungsverfahrens durch Verwendung des "echten" Formquotienten. Mitt. d. Württ. Forst. Vers. Anst. Bd.10, 44 S.
3. ANDRADE, J.B. 1969 Cálculo de Área com Planímetro. Floresta (1), 1: 47 - 48.
4. ASSMANN, E. 1961 Waldertragskunde. München, Bonn, Wien, 490 S.
5. AUBREVILLE, A. 1961 Etude écologique des Principales Formations Végétales du Brésil. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent sur Marne, 265 S.
6. BACKLUND, B. 1973 The Magnetic Tape Library of the National Swedish Forest Survey. FAO-SIDA-Course, Stockholm, 29 S.
7. BAGNOULS, F. & GAUSSEN, H. 1975 Les climats biologiques et leur classification. Ann. Geogr. 66 (35 S) : 193 - 220.
8. BICKFORD, C.A. 1956 Proposed design for Continuous Forest Inventory: a System of perpetual Forest Survey for the Northeast. Cumberland Falls, Ky. U.S. Forest Service Easter Techniques Meeting Forest Survey, S. 8 - 13.
9. BICKFORD, C.A. 1963 On successive forest inventories. Proc. Soc. of American Foresters, S. 25 - 30.
10. BOSE, S.S. et all. 1939 Statistical notes for agricultural workers, note on optimum Shape and size of plots for sugar cane experiments in Bihar. Indian Journal of Agricultural Science, S. 807 - 816.
11. BRENA, D.A. 1979 Comparação dos Métodos de Inventários Florestais Sucessivos un Relação a Amostragem com Repetição Parcial, Aplicados em uma População Estratificada. Dissertação de Mestrado, Curitiba, 127 S.
12. BRENAC, L. 1978 L'Inventaire Forestier National Français. IUFRO meeting, Bukarest, S. 399 - 410.
13. BRUN, R. 1969 Strukturstudien im gemäßigten Regenwald Südchiles als Grundlage für Zustands-erhebungen und Forstbetriebsplanung. Dissertation, Naturwissenschaftlich - Mathematische Fakultät der Albert - Ludwigs - Universität zu Freiburg i.Br., 156 S.

14. COCHRAN, W.G. 1963 Sampling Techniques.
2th ed. John Wiley and Sons, Inc. New
York and London, 413 S.
15. COCHRAN, W.G. 1977 Sampling Techniques.
3th ed. John Wiley and Sons, Inc. New
York, 428 S.
16. C.P.F. 1972 Inventário Florestal do Distrito Federal.
Centro de Pesquisas Florestais do Setor
de Ciências Agrárias U.F.Pr., Curitiba,
198 S.
17. C.P.F. 1973 Inventário Florestal dos Postos Indígenas
dos Estados do Paraná, Santa Catarina e
Rio Grande do Sul.
Centro de Pesquisas Florestais do Setor
de Ciências Agrárias U.F.Pr., Curitiba,
169 S.
18. C.P.F. 1974 Estudo dos Alternativas Técnicas, Econo-
micas e Sociais do Setor Florestal do
Paraná, Sub-Programa Materia Prima.
Centro de Pesquisas Florestais do Setor
de Ciências Agrárias do U.F.Pr., Curitiba,
339 S.
19. CUNIA, T. 1964 What is sampling with partial replacement
and why use it in continuous forest
inventory.
Proceedings Society of American Foresters,
S. 207 - 211.
20. CUNIA, T. 1965 Continuous forest inventory, partial
replacement of samples and multiple
regression.
Forest Science (4), S. 480 - 520.
21. CUNIA, T. and
CHEVRON, R.B. 1969 Sampling with partial replacement on
three or more occasions.
Forest Science, S. 204 - 224.
22. CUNIA, T. 1978 On the objectives and methodology of
National Forest Inventory Systems.
IUFRO meeting, Bukarest, S. XI . XXVIII.
23. DALENIUS, T. and
HODGES, J.L., Jr. 1959 Minimum variance stratification.
Journ. Amer. Stat. Assoc. 54, S. 88 - 101.
24. DILLEWIJN, F.K. van 1966 Inventário do Pinheiro no Paraná, Cerená,
CODEPAR, Curitiba, 104 S.
25. FAO 1965 Forest Inventories in the Amazon.
Report to the Government of Brasil No. 2080,
Rome, 78 S.
26. FAO 1973 Manual of Forest inventory with special
reference to mixed tropical forests,
Rome, 200 S.
27. FRAYER, W.E. 1966 Weighted regression in successive forest
inventories.
Forest Science (12), S. 464 - 472.

28. FRAYER, W.E. 1978 Sampling with Partial Replacement in National Inventories.
IUFRO meeting, Bukarest, S. 46 - 50.
29. FUPEF 1978 Inventário Florestal do Pinheiro no Sul do Brasil.
Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba, 327 S.
30. GALVÃO, M.V. 1966 Regiões Bioclimáticas.
In: Fundação IBGE. Atlas Nacional do Brasil, Rio de Janeiro.
31. GIRARD, J.W. 1933 Volume tables for Mississippi bottomland hardwoods and southern pines.
Journ. Forestry 31, S. 34 - 41.
32. GIURGIU, V. 1969 Dendrometrie.
Editura Agrosilvica, Bucuresti, 481 S.
33. GLASER, G. 1963 A Semeadura da Araucaria em Viveiro I - SRRA - FIP, Curitiba.
34. GLASER, G. 1972 Influência do Tamanho dos Sementes no Desenvolvimento Inicial dos Povoamentos Florestais de Araucaria angustifolia.
Congresso Florestal Mundial, Buenos Aires.
35. GOMES, A.M. de A. 1957 Medição dos Arvoredos.
Livraria Sã da Costa, Lisboa, 413 S.
36. GOOR, C.P. van 1965 Reflorestamento com Coníferas no Brasil.
MA - DRNR - DS - SPF, Rio de Janeiro, 58 S.
37. GROSENBAUGH, L.R. 1966 Tree form: definition interpolation, extrapolation.
Forestry Chron. 42, S. 444 - 457.
38. HASZPRUNAR, H. 1978 Die Österreichische Forstinventur.
IUFRO meeting, Bukarest, S. 196 - 307.
39. HAZARD, J.W. 1977 Estimating Area in Sampling Forest Population on Two Successive Occasions.
Forest Science (23), S. 253 - 267.
40. HANSEN, M.H. 1953
HURWITZ, W.N.
MADOW, W.G. Sample Survey Methods and Theory.
John Wiley & Sons, Inc., New York, Vol.I and Vol.II.
41. HEINSDIJK, D. 1957 Forest Inventory in the Amazon Valley.
Region Between Rio Tapajós and Rio Xingu.
FAO, Rome, 135 S.
42. HEINSDIJK, D. 1959 Volumes do Pinheiro.
SIF - SP - Serviço Florestal, MA, Rio de Janeiro.
43. HEINSDIJK, D. 1962 Plantação de coníferas no Brasil.
MA - SF - SIF Boletim No. 5, Rio de Janeiro.
44. HOHENADL, W. 1924 Der Aufbau der Baumschäfte.
Fw. Cbl.

45. HOSOKAWA, R.T. 1976 Betriebswirtschaftliche Kriterien zur Wahl der Umtriebszeit von *Araucaria angustifolia* (Bert./O. Kuntze) in Brasilian.
Dissertation, Forstwissenschaftliche Fakultät der Albert - Ludwigs - Universität zu Freiburg i.Br., 255 S.
46. HOSOKAWA, R.T. 1978 Inventário Florestal da Região de Influência da Represa de Itaipu.
Sub - projeto Manejo "Protetivo - Produtivo" para as Florestas Nativas.
Centro de Pesquisas Florestais do Setor de Ciências Agrárias U.F.Pr., Curitiba.
47. HUECK, K. 1966 Die Wälder Südamerikas.
G. Fisher Verlag, Stuttgart.
48. HUSCH, B. 1978 Why carry out National Forest Inventories?
IUFRO meeting, Bukarest, S. 134 - 143.
49. IBDF 1977 Situação Florestal Brasileira.
Desenvolvimento e Planejamento Florestal.
Série Técnica No. 4, Brasília, 70 S.
50. JESSEN, R.J. 1942 Statistical investigations of a sample survey for obtaining farm facts.
Iowa Agr. Exp. Station, 100 S. (Res. Bull. 304).
51. JONSON, T. 1910 Taxatoriska undersökningar om Skogsträdens form, I. Grauens stamform.
Skogsvardsf. Tidskr. 8. S. 185 - 328.
52. KAPP 1971 Umweltgefährdung, National - Ökonomie und Forstwissenschaft.
Forstarchiv 41, 8/9, S. 153 - 159.
53. KO, Y.Z. 1968 Beziehungen zwischen Formquotienten und Formzahl.
Dissertation, Naturwissenschaftlich - Mathematische Fakultät der Albert - Ludwigs - Universität zu Freiburg i. Br., 118 S.
54. KOHOUT, R. 1953 Plantações de *Araucaria angustifolia* nos Campos Paranaenses.
ABEF Ano6, No. 6, Rio de Janeiro.
55. KUNZE, M. 1891 Neue Methode zur raschen Berechnung der unechten Schaftformzahlen der Fichte und Kiefer.
Dresden, S. 30.
56. KUUSELA, K. 1978 The National Forest Inventory in Finland.
IUFRO meeting, Bukarest, S. 368 - 377.
57. LADEIRA, H.P. 1977 Wirtschaftliche Kriterien für die Gründung von Holzindustrien und die Verbesserung der Infrastruktur in Entwicklungsländern.
Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert - Ludwigs - Universität zu Freiburg i.Br., Dissertation, 180 S.

58. LAYCOCK, D.H. 1955
The effect of plot shape in reducing the errors of tea experiment.
Tropical Agriculture, Trinidad,
S. 107 - 114.
59. LIMA, D. de A. 1966
Mapa de Vegetação. In: Brasil.
IBGE, Atlas Nacional do Brasil, Rio de Janeiro.
60. LOETSCH, F. &
HALLER, K.E. 1973
Forest Inventory.
BLV - Verlag, Vol.I, München - Basel -
Wien, 436 S.
61. LOETSCH, F.
ZÜHRER, F. &
HALLER, K.E. 1973
Forest Inventory.
BLV - Verlag, Vol.II, München - Bern -
Wien, 469 S.
62. MAACK, R. 1931
Urwald und Savanne im Landschaftsbild
des Staates Paraná.
Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 3/4,
Berlin.
63. MAACK, R. 1956
Über Waldverwüstung und Bodenerosion im
Staate Paraná.
Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin,
Die Erde, 8, S. 191 - 288, Berlin.
64. MAACK, R. 1960
Die Veränderung der Naturlandschaft und
Ihre Folgen in Nordparana durch die
Besiedlung.
Mitteilung der Bundesforschungsanstalt
für Forst- und Holzwirtschaft, Welt-
forstwirtschaft, Reinbeck bei Hamburg,
No. 45.
65. MAACK, R. 1968
Geografia Fisica do Paraná.
Curitiba, 350 S.
66. MARTINEZ, J.M.
The System of the first National Forest
Inventory in Spain.
IUFRO meeting, Bukarest, S. 525 - 533.
67. MATTOS, J. 1972
Pinheiro Brasileiro.
São Paulo.
68. MEHER - HOMJI, V.M. 1963
Les bioclimats du Sub-continent Indien
et leurs types analogues dans le monde.
Pondichéry, Institut Francais, 386 S.
69. METEER, J.W. 1974
Design of a programming system for C.F.I.
Workshop.
Society of Amerikan Foresters, Washington
D.C., S. 346 - 356.
70. MEYER, H.A. 1933
Eine mathematisch - statistische
Untersuchung über den Aufbau des Plenter-
waldes.
Schw. Z. f. Fw.
71. MITSCHERLICH, G. 1942
Untersuchungen über die Derbholzformzahl
und neue Wege zu ihrer Ermittlung.
M.F.F.

72. MOSER, J.W. Jr. 1972
Purdue forest data processing service program documentation.
Purdue University Agricultural Experiment Station, Research Bulletin 891, 48 S.
73. MUNRO, D.D. 1968
Methods for describing distribution of soundwood in mature western Tremlock trees.
Univ. of British Columbia, PhD thesis, 188 S.
74. NEWTON, C.M.
CUNIA, T. &
BICKFORD, C.A. 1974
Multivariate estimators for sampling with partial replacement on two occasions.
Forest Science 20, S. 106 - 116.
75. NYSSÖNEN, A. 1976
Practices and trends in inventories of temperate forests.
Proceedings - Div. IV - XVI IUFRO World Congress - Oslo.
76. OGAYA, N. 1968
Kubierungsformeln und Bestandesmassenformeln.
Dissertation, Naturwissenschaftlich - Mathematische Fakultät der Albert - Ludwigs - Universität zu Freiburg i.Br., 85 S.
77. OSUMI, S.H. 1959
Studies on the stem form of the forest trees (1). On the relative stem form.
Journal of the Jap. For. Soc., No. 12.
78. PABST, H. 1974
Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung des Verursacherprinzips in der Land- und Forstwirtschaft.
Allg. Forst- und Jagdzeitschrift 8, S. 147 - 154.
79. PANDOLFO, C.M. 1973
Estudos básicos para o estabelecimento de uma política de desenvolvimento dos recursos florestais e de uso racional das terras na Amazonia.
Belem SUDAM, 54 S.
80. PANDOLFO, C.M. 1978
A floresta Amazônica: enfoque econômico - ecológico.
Belem SUDAM, 118 S.
81. PEARCE, S.C. 1935
Field experiments with fruit trees and other perennial plants.
Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, T.C. 23, 131 S.
82. PELLICO NETTO, S. 1971 a.
Plano de Colonização do Alto Turi Inventário Florestal.
C.P.F. Curitiba, 238 S.
83. PELLICO NETTO, S. 1971 b.
Recursos Florestais do Sul do Brasil. Floresta 3 (2), S. 68 - 74, Curitiba.

84. PÉLLICO NETTO, S.
CARNEIRO, C.M. 1978
Forest Resources Inventory of Altamira
Project Along the Transamazonian Road
in Brazil.
8th World Forest Congress, Jakarta, 46 S.
85. PELZ, D.R. &
THORN, R.H. 1976
The Illinois forest inventory data
processing system, 14 S.
86. PETERS, R. 1971
Konstruktion eines Massentafelmodells -
dargestellt am Beispiel der Baumart
Araucaria araucana (Mol.) C. Koch.
Dissertation, Forstwissenschaftliche
Fakultät der Albert - Ludwigs -
Universität zu Freiburg i.Br., 95 S.
87. POLANSCHÜTZ, J. 1961
Eine neue Form- bzw. Kubierungsfunktion.
Ber. d. IUFRO-Tagung Wien, Bd. 2/25 - 11,
8/3.
88. POLANSCHÜTZ, J. 1965
Eine neue Methode der Formzahl- und
Massenbestimmung stehender Stämme.
Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt,
Wien, 68, 186 S.
89. POSO, S. 1978
National Forest Inventory in Northern
Finland.
IUFRO meeting, Bukarest, S. 378 - 386.
90. PREÜßNER, K. 1974
Eine neue Schaftkurvengleichung und
ihre Anwendung.
Wissenschaftl. Zeitschrift der Tech.
Universität Dresden 23 (1):
S. 305 - 309.
91. PRODEPEF. 1976
Uma análise das Prioridades em
Conservação da Natureza na Amazônia.
Série Técnica No. 8, Brasília, 62 S.
92. PRODAN, M. 1944
Zuwachs- und Ertragsuntersuchungen im
Plenterwald.
Dissertation, Universität Freiburg, 127 S.
93. PRODAN, M. 1958
Untersuchungen über die Durchführung
von Repräsentativaufnahmen.
AFJZ, 1955, H.1, S. 15 - 33.
94. PRODAN, M. 1965
Holzmeßlehre.
Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main,
644 S.
95. PRODAN, M. 1977 a.
Allgemeingültigkeit Forstlicher Prinzipien.
Forstarchiv 48 (12), S. 245 - 248.
96. PRODAN, M. 1977 b.
Sustained Yield as a Basic Principle to
Economic Action.
Economics in Institutional Perspective.
Memorial Essay in Honor of K.W. Kapp
D.C. Heath & Co., Ma. USA, S. 101 - 113.

97. PRODAN, M. 1977 c. Inventário Florestal Intensivo para Obtenção de Meios e Tabelas Auxiliares para Atividade Florestal nos Países em Desenvolvimento. Floresta 8 (2), S. 5 - 13.
98. PRODAN, M.
KRENN, K. 1944 Die Bestimmung der echten Schaftholzformzahl aus dem echten Formquotienten. Mitt. d. Akad. deutsch. Fw. Bd. 8, 147 S.
99. QUEIROZ, W.T. 1977 Efeitos da Variação Estrutural em Unidades Amostrais na Aplicação do Processo de Amostragem em Conglomerados nas Florestas do Planalto do Tapajós. Dissertação, U.F.Pr., Curitiba, 108 S.
100. RADAMBRASIL 1974 Levantamento de Recursos Naturais Vegetação - Vol. 5, Rio de Janeiro.
101. RADAMBRASIL 1975 Levantamento de Recursos Naturais Vegetação - Vol. 7, Vol. 8 e Vol. 9, Rio de Janeiro.
102. RADAMBRASIL 1976 Levantamento de Recursos Naturais - Vegetação, Vol. 10, Vol. 11 e Vol. 12, Rio de Janeiro.
103. REIS, M.S. 1979 Uma Definição Técnico - Política para o Aproveitamento Racional dos Recursos Florestais da Amazônia Brasileira, Brasília, 21 S.
104. RIBEIRO, J.C. 1978 Eficiência da Amostragem com Repetição Parcial em Relação aos Outros Processos de Inventários Florestais Sucessivos em Duas Ocasões. Dissertação, Curitiba, 99 S.
105. RIZZINI, C.T. 1976 Tratado de Fitogeografia do Brasil. Aspectos ecológicos Vol. 1, 327 S.
106. ROGERS, R. 1953 Problemas Silviculturais da Araucaria angustifolia. ABEF 6 (6), Rio de Janeiro.
107. SCHIFFEL 1899 Form und Inhalt der Fichte Wien. Mitt. a.d. forstl. Versuchswesen Österreichs, Heft 24.
108. SCHÖPFER, W. 1966 Automatisierung der Massen-, Sorten- und Wertberechnung stehender Waldbestände. Schriftenreihe Baden-Württembergischen Forstl. Versuchsanstalt, Bd. 21.
109. SCHUMACHER, F.X.
CHAPMAN, R.A. 1954 Sampling methods in Forestry and Range Management. Durham Duke University, Bull. 7, 222 S.
110. SICKLE, C.C. van 1978 An Overview of Regional Forest Inventory Systems in the United States. IUFRO meeting, Bukarest, S. 89 - 98.

111. SICO SMIT, G. 1974 Practical Application of Radar Images to Tropical Rain Forest Mapping in Colombia.
Waldinventer No. 99.
112. SIMONY, O. 1904 Über Formzahlengleichungen und deren forst-mathematische Verwertung, Wien.
113. SIQUEIRA, J.D.P. 1977 Tabelas de Volume para Povoamentos Nativos de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Kuntze, no Sul do Brasil.
Dissertação, Curitiba, 163 S.
114. SINGH, K. 1973 On Some Common Patterns of Spatial Variation in the Tropical Rain Forests and their significance for Planning of Forest Surveys.
FAO - SIDA - Course, Stockholm, 26 S.
115. SINGH, K. 1978 A Case Study of the National Forest Inventory of India.
IUFRO meeting, Bukarest, S. 182 - 191.
116. SMITH, V.G. 1978 Forest Inventory in Canada.
IUFRO meeting, Bukarest, S. 17 - 23.
117. SPACE, J.C. 1978 General Purpose Computer Programs to Process Forest Inventory Data in the United States.
IUFRO meeting, Bukarest, S. 99 - 112.
118. SPEIDEL, G. 1976 A Floresta Amazônica - O Desafio aos Técnicos, Cientistas e Políticos.
Mimeo, 21 S.
119. SPEIDEL, G. 1978 Comparativo Histórico entre os Problemas de Conservação do Meio - Ambiente no Brasil e na Europa.
Mimeo, Simpósio de Ecologia, Curitiba, 29 S.
120. SPELTZ, G. 1963 a. Desenvolvimento da Araucaria angustifolia (Bert./O. Kuntze) na Fazenda Monte Alegre.
I - SRRA. FIP, Curitiba.
121. SPELTZ, G. 1963 b. Informações Preliminares quanto ao Desenvolvimento da Araucaria angustifolia, Pinus taeda, Pinus caribaeae e Pinus elliottii na Fazenda Monte Alegre.
I - SRRA. FIP, Curitiba.
122. SPURR, N.S. 1952 Forest Inventory.
New York, 476 S.
123. SPURR, N.S. 1952 Forest Inventory.
Ronald Press. Co. New York.
124. STEEL, R.G.S. & TORRIE, J.H. 1960 Principles and Procedures of Statistics.
McGraw - Hill Book Comp. Inc. New York, 481 S.

125. STEPHAN, F.F. 1941 Stratification in representative sampling. Journ. Marketing, 6 - 38 - 46.
126. SUCHEK, V.I. 1975 As Florestas plantadas e a Indústria de Papel no Brasil. Prodepef, Rio de Janeiro, MS These, 175 S.
127. SUKHATME, P.V. 1954 Sampling Theory of Surveys with Applications. 2nd ed. Iowa State University Press. Ames. Iowa.
128. SUKHATME, P.V. & Sampling Theory of Surveys with Applications. Iowa State University Press. Ames. Iowa, 452 S.
129. THIBAU, C.E. 1972 Supply of Charcoal to the Brazilian Pigiron Industry. Prodepef, IBDF, Belo Horizonte.
130. TSCHUPROW, A.A. 1923 On the mathematical expectation of the moments of frequency distributions in a case of correlated observations. Metron 2, S. 461 - 493, S. 646 - 683.
131. VELOSO, H.P. 1966 Atlas Florestal do Brasil. Rio de Janeiro, 82 S.
132. VELOSO, H.P. et alii 1973 As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Projeto Radambrasil, Rio de Janeiro, Vol. 4.
133. VELOSO, H.P. et alii 1974 As regiões fitogeográficas, sua natureza e seus recursos econômicos. Rio de Janeiro, Vol. 4.
134. VILA SALAS, A.B. & DELOYA, M.C. 1978 The National Forest Inventory of Mexico. IUFRO meeting, Bukarest, S. 601 - 606.
135. YATES, F. 1960 Sampling Methods for Censuses and Surveys. 3th ed. Charles Griffith & Co. Ltd. London.
136. WARE, K.D. & CUNIA, T. 1962 Continuous forest inventory with partial replacement of samples. Forest Sci. Monograph. 3, 50 S.
137. WILSON, R.W. & PETERS, R.C. 1967 The Northeastern forest inventory data processing system USDA. Forest Service, Research Papers NE 61, NE 70 through NE 78, 170 S.
138. WUTT, H. 1961 Schaftkurven - Näherung durch Integration - Polynome. Cbl. f.d. gesamte Forstwesen, H.1.
139. ZÖHRER, F. 1978 National Forest Inventories Goals, Concepts, Changes. IUFRO meeting, Bukarest, S. 447 - 454.

Lebenslauf

Am 4. April 1941 wurde ich als Sohn des Lehrers Mozart Coteigipe Péllico und dessen Ehefrau Geralda in São Tomaz de Aquino - Minas Gerais - Brasilien geboren.

Zur Schule ging ich in Bundesland Minas Gerais, von 1948 bis 1952 in die Grupo Escolar C^{el} Neca Lemos in Pratapolis, 1953, in die Grupo Escolar in São Tomaz de Aquino, von 1954 bis 1958 in die Escola Agrotecnica de Muzambinho und von 1959 bis 1960 in die Escola Agrotécnica Riaulas Abren in Barbacena die ich am 10.12.1960 mit dem Abitur abschloss.

Im Jahre 1961 begann ich das Studium der Forstwissenschaft an der Universität Viçosa. 1964 wurde die Forstwissenschaftliche Fakultät von Minas Gerais nach Parana verlegt. Ich habe deshalb mein Studium im Dezember 1965 mit der Diplom-Prüfung in Curitiba abgeschlossen. 1966 arbeitete ich als "Forstingenieur des Inventur - Projektes von Pinheiro" (*Araucaria angustifolia*) in Paraná.

Im September 1966 bekam ich ein Stipendium von der FAO, um den M.S. an der Universität New York in Syracuse zu machen. Im August 1968 habe ich meine Master-Prüfung abgeschlossen und bekam bei meiner Rückkehr nach Curitiba die Stelle von Professor van Dillewijn als Professor für Biometrie und Waldinventur.

Im Laufe der letzten 9 Jahre wurde ich mit folgenden Ämtern betraut:

1. Direktor des Forschungszentrums der Agrarwissenschaftlichen Zentrums der Bundesuniversität von Parana, von Juli 1972 bis April 1976.
2. Koordinator des Post-Graduirten-Kurses der Forstwissenschaft von März 1973 bis September 1977.
3. Leiter des Instituts für Waldbau und Forsteinrichtung von April 1975 bis April 1977.

4. Wissenschaftlicher Direktor der Stiftung für Forstliche Forschung
von August 1971 bis September 1977.

Seit Oktober 1977 wohne ich in Freiburg i.Br. Nach acht monatigem Sprachkurs am Goethe Institut - Freiburg und nach Abschluß des Kurses "Deutsch als Fremdsprache", der Universität Freiburg wurde ich von der Fakultätskonferenz der Forstwissenschaftlichen Fakultät zur Promotion zugelassen und seitdem befasste ich mich mit dem Thema: Untersuchungen zur Verbesserung der Planung und Durchführung von Großrauminventuren in Naturwäldern Brasiliens am Institut für Forstliche Ertragskunde - Abteilung Forstliche Biometrie der Universität Freiburg i.Br. unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. M. Prodan.

